# عجائب الفيزياء

## ألغاز ومفارقات وغرائب



كريستوفر يارجودسكي وفرانكلين بوتر

# عجائب الفيزياء

# عجائب الفيزياء

## ألغاز ومفارقات وغرائب

تأليف
كريستوفر يارجودسكي وفرانكلين بوتر

ترجمة
محمد فتحي خضر



# عجائب الفيزياء

كريستوفر يارجودسكي
وفرانكلين بوتر

# Mad About Physics

Christopher Jargodzki
and Franklin Potter

**الطبعة الأولى ٢٠١٥م**
رقم إيداع ٢٠١٤ / ٢٣٢٧٤


**مؤسسة هنداوي للتعليم والثقافة**
إن مؤسسة هنداوي للتعليم والثقافة غير مسئولة عن آراء المؤلف وأفكاره
وإنما يعبِّر الكتاب عن آراء مؤلفه
٥٤ عمارات الفتح، حي السفارات، مدينة نصر ١١٤٧١، القاهرة
جمهورية مصر العربية
**تليفون:** ٢٠٢ ٢٢٧٠٦٣٥٢ + **فاكس:** ٢٠٢ ٣٥٣٦٥٨٥٣ +
**البريد الإلكتروني:** hindawi@hindawi.org
**الموقع الإلكتروني:** http://www.hindawi.org

---

يارجودسكي، كريستوفر.
عجائب الفيزياء: ألغاز ومفارقات وغرائب/تأليف كريستوفر يارجودسكي، فرانكلين بوتر.
تدمك: ٩٧٨ ٩٧٧ ٧٦٨ ٢١٢ ١

١- الفيزياء

أ- بوتر، فرانكلين (مؤلف مشارك)
ب- العنوان

٥٣٠

---

تصميم الغلاف: وفاء سعيد.

# المحتويات

إلى والدي الراحل، زيسلاف يارجودسكي.

كريستوفر يارجودسكي

إلى أستاذَيِ العلوم في مدرسة مارك هيببيل الثانوية؛ الآنسة هاجير والسيد فورستر، اللذين كانا أول من تحداني في الكيمياء والفيزياء أن أجد المتعة في دراسة العلوم.

فرانكلين بوتر

# شكر وتقدير

من الصعب أن نُعْرِب عن عرفاننا لكل الأشخاص الذين ساعدونا في إتمام هذا الكتاب حتى طباعتِه.

وبترتيب زمني تقريبي، أود أنا، كريستوفر يارجودسكي، أن أعبر عن تقديري لكلٍّ من:

مارتن جاردنر، الذي عمل سابقًا في مجلة ساينتفيك أمريكان، والذي كان أول من بدأ العملية التي أفضت إلى ظهور هذا الكتاب، وذلك حين اقترح أن تمنح دار نشر تشارلز سكريبنرز صَنز عقدًا لمؤلف عديم الخبرة.

كما أشكر الراحل ريتشارد فاينمان، الذي كانت زياراته لجامعة كاليفورنيا في إرفين مصدرًا دائمًا للإلهام.

أشكر كذلك الأستاذين مايرون باندر وماينارد ماير من جامعة كاليفورنيا في إرفين، والأساتذة رونالد آرون، وآلان إتش جرومر، وستيفن رويكروفت، وكارل إيه شيفمان من جامعة نورث إيسترن في بوسطن، والأساتذة دينيس فولك، ومايكل فورستر، وجونجينيس، وروبرت إي كينيدي، ودونالد دي ميلر، ومايكل إتش باورز، وجيمس إتش تايلور، وألفين آر تينسلي من جامعة سنترال ميزوري الحكومية، وكلًّا من باتريشا هوبارد وكريستال ستيوارت من جامعة سنترال ميزوري لمساعدتهما لي في المعالجة النصية لأجزاء من مخطوطة الكتاب الأولية، ومايكل دورنان الذي اقترح عليَّ العديد من عناوين الفصول، وشيريل ديفيز وشارلوت كانينجهام.

أود أنا، فرانكلين بوتر، أن أشكر الفيزيائي جوليوس سَمنر، الذي شجع دائمًا على فهم «الأشياء الصغيرة التي تجعل العالم يدور» من أجل تشجيعه إياي على تدريس مقرر دراسات عليا في جامعة كاليفورنيا في إرفين في ثمانينيات القرن العشرين، مستخدمًا

ألغازًا فيزيائية من هذه النوعية كي أجعل طلبة الدكتوراه يربطون بين الفيزياء والحياة العملية. وأهم من ذلك، تظل زوجتي، باتريشا، وولدانا، ديفيد وستيفن، مصدرًا للإلهام ويستحقون كل الشكر الذي يمكنني أن أمنحهم إياه.

يود كِلَا المؤلفينِ التعبير عن عميق تقديرهما لكيت سي برادفورد، المحررة في مؤسسة جون وايلي آند صَنز، التي حافظت على الإيمان بهذا المشروع عبر السنوات العديدة التي استغرقها إتمامه.

# تمهيد

يضم هذا الكتاب ما يقل قليلًا عن أربعمائة لغز عن صرير الثلج، والجليد الساخن، والفيلة المختفية، والألوان الأولية، وتجارب الغوَّاص الديكارتي، والحركة الأبدية، والرفع الديناميكي الهوائي، وحلقات الدخان، وصفافير الضباب، والطبقة الصوتية الافتراضية، وكئوس النبيذ الموسيقية، وحافظات المغناطيسات، والفئران الطافية في الهواء، والنساء الخارقات، والسائرين على الحبال، والجاذبية المضادة، والبندولات العجيبة، والهياكل المشيدة وفق مبدأ الضغط والشد، والبراغيث المتقافزة، والسيارات، وما هذه إلا أمثلة قليلة للموضوعات العديدة التي يتناولها الكتاب. وتغطي الأسئلة مجال الفيزياء المرئية بالعين المجردة بأسره؛ أي الظواهر التي يمكننا ملاحظتها دون مُعدَّات بحثية متخصصة. كما تَسْبُر ثلاثة فصول إضافية أغوارَ فيزياء الألعاب الرياضية وعلوم الأرض وعلم الفلك. وهنا قد تتعلق الأسئلة بالأرقام القياسية للقفز العالي، والكُرَات المقوسة، والنقرات الموجودة على كرات الجولف، والموجات على الشاطئ، والبرق والرعد، والشحنة السالبة للأرض، والأنهار المتعرجة، والتقاء المدارات، ومسار القمر حول الشمس، واستكشاف الكواكب، وهذا، مجددًا، عدد قليل من الموضوعات العديدة التي يتناولها الكتاب.

تتراوح الألغاز في صعوبتها بين الأسئلة السهلة (مثال: «لماذا تستطيع أن تدفئ يديك عن طريق النفخ فيهما برفق، فيما تستطيع أن تبردهما عن طريق النفخ فيهما بقوة؟») والمشكلات المعقدة التي تحتاج إلى مزيد من التحليل (مثال: «تُرَص قوالب من الطوب بحيث يبرز كل قالب عما تحته دون أن يسقط مِن عليه. هل يمكن للقالب العلوي أن يبرز بعد نهاية القالب السفلي بمسافة تزيد عن طوله؟») وتمثل الحلول، إلى جانب المراجع البالغ عددها أكثر من ثلاثمائة مرجع، نحو ثلثَي الكتاب.

وكما ستبين لنا هذه الأمثلة، فإن أغلب الألغاز تحوي عنصرًا من عناصر المفاجأة. وفي واقع الأمر، يُعَدُّ الصدام بين الحدْس النابع من الإدراك المنطقي الفطري وبين التفكير الفيزيائي المنطقي موضوعًا محوريًّا يمتد بطول هذا الكتاب. وَصَفَ أينشتاين الإدراك المنطقي الفطري بأنه مجموعة التحيزات التي يكتسبها المرء قبل بلوغه الثامنة عشرة من العمر، ونحن نتفق معه في هذا؛ فعلى الأقل في العلم، يجب أن يُنقَّح الإدراك الفطري ويجري التجاوز عنه غالبًا بدلًا من توقيره. وهذا الكتاب يحاول تقويض التحيزات الفيزيائية السابقة عن طريق توظيف المفارقات المنطقية من أجل خلق حالة من عدم التناغم الإدراكي. قال شكسبير في مسرحية هاملت: «رغم أن هذا قد يكون جنونًا، فإن به شيئًا من المنطق.» ونحن نرى أن المفارقات ليست مصدر ترفيه وحسب، وإنما هي فعالة على نحو فريد في مجابهة مناطق قصور معينة في فهمنا (انظر أيضًا، مقال دانيال دبليو ويلش بعنوان «استخدام المفارقات»، أمريكان جورنال أوف فيزيكس، المجلد ٤٨ لعام ١٩٨٠م: ص٦٢٩–٦٣٢). تدبر مثلًا السؤال التالي: رجل يقف على ميزان حمام، وفجأة يجثم القرفصاءَ بعجلة قدرها ع، هل ستزداد قراءة الميزان أم تقل؟ سيقول أغلب الطلاب، مسترشدين بإدراكهم الفطري، إن القراءة ستزيد؛ لأن الرجل يضغط للأسفل على الميزان أثناء جلوسه القرفصاء. غير أن الجواب الصحيح هو أن القراءة سوف «تقل»؛ لأنه أثناء جلوس الرجل القرفصاءَ فإن مركز جاذبيته يتسارع لأسفل؛ ومن ثم يجب أن تقل القوة الطبيعية المبذولة على الميزان. عند التعامل مع مفارقات كهذه، سيكون التناقض بين الإحساس الغريزي والتفكير الفيزيائي مؤلمًا، لدرجة أنهم سيبذلون جهدًا كبيرًا للهرب منه، حتى لو كان معنى هذا أنهم سيتحتم عليهم أن يدرسوا بعض قواعد الفيزياء خلال هذه العملية.

هل هذه المفارقات حقيقية أم ظاهرية وحسب؟ من منظور الطرق القياسية لتدريس الفيزياء فإن النتائج المناقضة للبديهة التي سنصل إليها في العديد من ألغاز هذا الكتاب من الواضح أنها «تبدو» متناقضة وحسب. فالنتائج قد تكون غير متوقعة، وفي بعض الأحيان محيرة للعقل، ومع ذلك فإنه باستثناء بضعة ألغاز تتضمن مغالطات متعمَّدة، فإنها جميعًا مستمدة على نحو تام من قوانين الفيزياء الأساسية، ومن الممكن التأكد منها تجريبيًّا. لكن ربما يجدر بنا الاحتفاء بإحساس عدم الارتياح ونتعمق في الأمر بدرجة أكبر. فعلى أي حال، العديد من المفاهيم في الفيزياء محضُ صورٍ وتوصيفات ذهنية تساعد على تصور الحسابات أو تبسيطها. من أمثلة ذلك قوى الطرد المركزية، وخطوط المجالات

الكهربائية والمغناطيسية، وقُطْبَا المغناطيس، والصورة المتعارف عليها للتيار الكهربائي، وهذا قليل من كثير. لكن الصور المفيدة قد تكون خطيرة؛ لأنه يجب التنبه دومًا إلى طبيعتها غير الحقيقية. وهناك جدل قائم منذ فترة طويلة في أوساط علم الفيزياء بشأن ما إذا كانت بعض المفاهيم الراسخة قد تجاوزت وقتها بحيث لم تعد مفيدة وأنه يجب التخلص منها تمامًا. فعلى سبيل المثال اقترح هاينريش هرتز، أحد أوائل المشاركين في هذا الجدل، أن الميكانيكا النيوتونية يجب إعادة صياغتها من دون استخدام «القوة» كمفهوم أساسي. وفي مقدمة كتابه «مبادئ الميكانيكا»، المنشور عام ١٨٩٩م، كتب هرتز يقول: «حين تُزال هذه التناقضات المؤلمة، فإن السؤال الخاص بطبيعة القوة لن يكون قد أجيب عنه، لكن عقولنا، التي لم تعد مرتبكة، ستتوقف عن طرح الأسئلة غير المشروعة.» أما لودفيج فيتجنشتاين، الذي كان يعرف هذه الفقرة كلمة كلمة تقريبًا، فقد كان منبهرًا للغاية بها، لدرجة أنه تبنَّاها كتعبير عن هدفه في الفلسفة: «في نهجي الفلسفي، هدفي كله هو أن أمنح التعبير صيغةً تختفي معها أي بلبلة.»

والمفارقات المنطقية هي تجسيد لمثل هذه البلبلة، ونتيجة لذلك فقد لعبت دورًا مؤثرًا في تاريخ الفيزياء، وعادةً ما كانت تؤذِن بحدوث تطورات ثورية. لقد عملت الأفكار المناقضة للبديهة التي نتجت عن نظرية النسبية وميكانيكا الكم على تعزيز سمعة المفارقات بوصفها عاملًا من عوامل التغيير. هل الواقع الفيزيائي متناقضٌ بطبيعته (أي مجنون، لو استخدمنا التعبير العامي)، أم هل تنشأ التناقضات فقط من توصيفنا للعالم؟ وهل هي إشارة لنبذ الإطار المفاهيمي القديم وتبَنِّي إطارٍ جديدٍ؟ بما أن هذا الكتاب ليس كتابًا في الفلسفة، فلدينا الحق في المراوغة، وبدلًا من أن نجيب عن الأسئلة على نحو مباشر، فنحن نفضل أن ننهي تمهيدنا بطُرْفَة عن اثنين من نجوم الفيزياء العظماء في القرن العشرين؛ نيلز بور وفولفجانج باولي. فمنذ عدة عقود كان بور ضمن عدد من الحضور الذين يستمعون لباولي وهو يشرح محاولاته المبكرة للتوفيق بين نظرية النسبية وميكانيكا الكم. وبعد بعض الوقت نهض بور وقال: «كلنا متفقون على أن نظريتك مجنونة تمامًا. بَيْدَ أننا مختلفون حول ما إذا كانت مجنونة بالدرجة الكافية أم لا.»

# إلى القارئ

الألغاز الواردة في هذا الكتاب قُصد منها أن تكون مصدرًا للمتعة، ولا يهم كم منها تستطيع حله. وفي الواقع، استعصى بعضٌ من هذه الألغاز على الفيزيائيين لعقود واستلزم الكثير من الدراسات البحثية. ومن الأمثلة الشهيرة على هذا مقياسُ راديومتر كروك ورشاشات فاينمان المعكوسة، والسيفون، والرفع الديناميكي الهوائي. والأسئلة من هذا النوع ستوضع عادةً قرب نهاية كل فصل وتُميَّز عادةً بوضع نجمة صغيرة إلى جوارها. سيحتاج الإتيان بحلول تفصيلية لكل الألغاز الواردة هنا إلى قارئ من نوع نادر. وفي الواقع، أحيانًا قد يحتاج القارئ إلى التفكير قليلًا حتى قبل تفهُّم الإجابة. كان من شأن وضع كل خطوات الحلول أن يضاعف حجم هذا الكتاب، ولا يسعنا الاعتذار عن هذا الأمر. وإذا وجد القارئ الألغاز محيرة ومثيرة للاهتمام، فسنكون قد أنجزنا مهمتنا.

يمكن لأي شخص يملك بعض المعرفة بالمبادئ الأولية للفيزياء ويريد أن يتعلم المزيد عن تطبيقها على الظواهر الحقيقية أن يستفيد من قراءة هذا الكتاب. وأغلب الألغاز هنا غير رياضية في جوهرها، وتتطلب فقط تطبيقًا نوعيًّا لمبادئ الفيزياء الأساسية. والعديد من المفاهيم الفيزيائية معرَّفة على نحو مباشر أو غير مباشر في فقرات عدة، ويمكن العثور على التعريفات بمساعدة الفهرس. لكن حتى الشخص العارف بالموضوع سريعًا ما سيدرك أنه ليس من السهولة بمكان تطبيق مبادئ الفيزياء على العالم الفعلي، ومن هذا الجانب لا يعد هذا الكتاب كتابًا تمهيديًّا.

يضم الكتاب أكثر من ثلاثمائة مرجع من أجل القراء المهتمين بالموضوعات المطروحة. وهذه المراجع مدرجة فقط عقب بعض الألغاز،عادةً تلك الأكثر خلافية؛ ومن ثم يغطيها

عدد كبير من الدراسات البحثية. لا توجد مساحة لإدراج قائمة أكثر اكتمالًا من المراجع. ونحن نعتذر عن هذا الأمر للمؤلفين الذين ربما جرى إغفال أعمالهم سهوًا من طرفنا.

**ملحوظة**

أورد المؤلفان مجموعة من المقولات والمعلومات المهمة والطريقة المرتبطة بموضوع كل فصل، وسيجدها القارئ في إطارات منفصلة داخل نص الكتاب.

الفصل الأول

# درجة الحرارة

الطاقة الحرارية مكوِّن رئيسي من مكونات بيئتنا، لكن يبدو أننا نميل إلى نسيان القيود الشديدة التي تفرضها على أنشطتنا. على سبيل المثال؛ التغيير الطفيف في درجة الحرارة عادةً ما يتطلَّب مقادير كبيرة من الطاقة عند مقارنته بتغيير أشكال الطاقة الأخرى؛ كالطاقة الصوتية أو الطاقة الحركية الانتقالية. والألغاز التي يتضمَّنها هذا الفصل تشمل توضيحًا للكيفية التي يمكن بها للجليد أن يوجد في الماء المغلي، وتفسيرًا لِلُعبة الطائر الزجاجي، وتحديدًا لأفضل السُّبل لطهي الهمبورجر. تذكَّر أن تتصوَّر الموقف المثالي أولًا ثم تُدخِل التعقيدات الضرورية وأنت تتعمَّق في هذه التحديات.

## (١) تجربة التُّرمُس

لديك ثلاثة ترامس متماثلة، التُّرمس (أ) و(ب) و(ج). يحتوي التُّرمس (أ) على لتر واحد من الماء حرارته ٨٠ درجة مئوية، والتُّرمس (ب) يحتوي على لتر واحد من الماء حرارته ٢٠ درجة مئوية، أما الترمس (ج) فليس به ماء. الوعاء (د) يمكن وضعه بسهولة في أيٍّ من الترامس الثلاثة، وله جدران موصِّلة للحرارة بشكل مثالي.

عِلمًا بأنه ممنوعٌ عليك أن تخلط الماء الساخن بالماء البارد، هل يمكنك تسخين الماء البارد بمساعدة الوعاء (د) والماء الساخن بحيث تكون درجة الحرارة النهائية للماء البارد أعلى من درجة الحرارة النهائية للماء الساخن؟

قال السيد كامنجز: «أيها الساديُّ اللعين، أنت تحاول أن تجعل الناس يفكِّرون.»

عزرا باوند

## (٢) غلي الماء بالماء المغلي

اغمس وعاءً صغيرًا من الماء البارد في قِدر من الماء المغلي دون أن تسمح باختلاط هذا الماء بذاك. إذا انتظرت فترة طويلة بما يكفي، فهل سينتهي الحال بالماء الأكثر برودةً الموجود في الوعاء الأصغر بالغليان؟

الديناميكا الحرارية سهلة، لقد تعلَّمتها عدة مرات بالفعل.

مجهول

## (٣) الغاز والبخار

هل هناك فارق بين الغاز والبخار؟

إذا كان هذا الشيء الذي نطلق عليه العالم

قد وُلد بمحض الصدفة من ذرات

تدور في حركة لا تتوقف

ومع ذلك لا تَكِلُّ

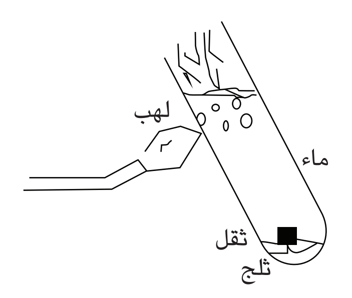
فكيف لهذا أن يثبت

أنك بهذا الجمال وأنني واقع في غرامك؟

جون هول

## (٤) ثلج في ماء مغلي

من الممكن بيان أنه ليس من الضروري أن تذوب قطعة من الثلج في ماء مغلي. املأ أنبوب اختبار قرب نهايته بماء فاتر، ثم ضَعْ فيه قطعة من الثلج واضغطها لقاع الأنبوب مستعينًا بثقل صغير. سخِّن الأنبوب بلهبٍ، بحيث يمس اللهب الجزء العلوي من الأنبوب. سريعًا ما سيبدأ الماء في الغليان، لكن قطعةَ الثلج في القاع لن تذوب! ما العمليات الفيزيائية المسبِّبة لذلك؟




## (٥) قُطَيْرتان من الزئبق

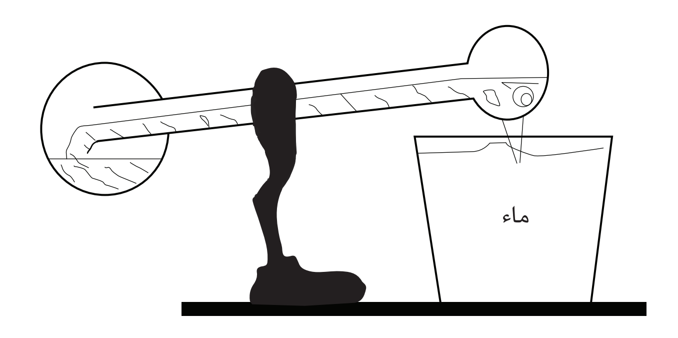
تتَّحِد قطيرتان متماثلتان تمامًا من الزئبق في قُطَيْرة واحدة أكبر. القُطَيْرة الناتجة الأكبر حجمًا تكون أكثر دفئًا من القُطَيْرتين الأصليتَيْن. لماذا؟

> إن الطاقة المنتَجة بواسطة الذرة هي من نوعية رديئة للغاية. وأيُّ شخص يتوقَّع وجود مصدر للطاقة من تغيير بنية هذه الذرات حديثُهُ هُراء.
>
> إرنست رذرفورد (١٩٣٣م)

## (٦) الطائر الزجاجي

يغمس الطائرُ الزجاجي المعروفُ منقارَه في الماء على نحو منتظم، ثم يميل إلى الخلف وينتظر قليلًا قبل أن يعاود الغطس بمنقاره مجدَّدًا. السائل الموجود داخل الجسم والرأس

هو كلوريد الميثيلين، الذي يغلي عند درجة حرارة ٤٠,١ مئوية عند الضغط العادي. وعلى عكس البندول، لا يحتفظ الطائر الزجاجي بطاقته من دورة إلى أخرى، وإنما يجب أن يحصل على طاقته من البيئة المحيطة. كيف يفعل هذا؟




المتفائل يعتقد أن هذا هو أفضل العوالم المتاحة، أما المتشائم فيعرف أنه كذلك.

جيه روبرت أوبنهايمر

## (٧) حرارة الغرفة

إذا شغَّلت المِدْفأة في غرفتك، ثم أغلقتها بعد ساعة مثلًا، فهل سترتفع الطاقة الإجمالية للهواء الموجود في الغرفة بفعل هذه التدفئة؟

**قانون بيكر للجمادات**

تُصنَّف الأجسام الجامدة علميًّا إلى ثلاث فئات رئيسية: تلك التي لا تعمل، وتلك التي تتعطَّل، وتلك التي تضيع.

## (٨) الارتجاف في درجة حرارة الغرفة

تتراوح درجة حرارة الغرفة في المعتاد بين ١٨ و٢٢ درجة مئوية، وهي درجة تقلُّ كثيرًا عن درجة حرارة جسم الإنسان الطبيعية البالغة نحو ٣٧ درجة مئوية. أليس من المفترض أن نرتجف بردًا على نحو متواصل كي نعادل فقدان الطاقة الحرارية بواسطة الإشعاع؟

## (٩) تسخين كُرَتين متماثلتين

تتلقَّى كرتان متماثلتان مقدارَيْن متماثلَيْن من الطاقة الحرارية، ويحدث النقل الحراري بسرعة كبيرة، لدرجة أنه لا يتسرَّب منه أيُّ مقدار إلى البيئة المحيطة. إذا بدأت الكرتان بدرجة الحرارة عينها، وكانت إحداهما موضوعة على طاولة والأخرى معلَّقة في خيط، فهل ستظل الكرتان على نفس درجة الحرارة بعد الإضافة السريعة للطاقة الحرارية؟

> يتجمَّد الماء عند درجة حرارة ٣٢ فهرنهايت، ويغلي عند درجة حرارة ٢١٢. وهناك فارق مقداره ١٨٠ درجة بين التجمُّد والغليان؛ لأن هناك ١٨٠ درجة بين الشمال والجنوب.
>
> إجابة أحد الطلاب في اختبار للفيزياء

## (١٠) شواء الهمبورجر

عند وضع الهمبورجر على الشواية فإنه ينضج بشكل أسرع على نارٍ متوسطة مقارنةً بالنار المرتفعة. ما السبب؟

> العلم يجيب عن السؤال «لماذا؟» بينما الفن يجيب عن السؤال «لماذا لا؟»
>
> سول لي ويت

## (١١) شواء الهمبورجر مقارنةً بشواء قطعة لحم صافية

لماذا يجب شواء الهمبورجر بشكل أوفى من شريحة اللحم الصافية؟ فعلى أي حال، كلاهما يتكوَّن من اللحم عينه؛ اللحم البقري. وإذا كنتُ أُحِب تناول اللحم البقري القليل النُّضْج، فما الفارق الذي يُحدِثه كون اللحم قطعة واحدة صافية أو لحمًا مفريًّا؟

> عادةً ما تقول النساء إنهن يشعرن بالبرد عند نفس درجة الحرارة التي يشعر عندها الرجال بالراحة؛ وسبب ذلك هو أن النساء يمتلكن قدرًا أكبر من دهون الجسد. تمثِّل دهون الجسد ٢٦ بالمائة من وزن المرأة العادية البالغة من العمر ٣٠ عامًا، مقارنة بـ ٢١ بالمائة فقط في حالة الرجل. الدهون تكون خاملة في المعتاد بينما الألياف العضلية تنقبض على نحو متواصل — حتى حين يبدو المرء ساكنًا تمامًا — ولهذا السبب تولِّد العضلات المزيد من الحرارة.

## (١٢) الأميال المقطوعة

أيهما يجعل السيارة تقطع عددًا أكبر من الأميال: جالون من البنزين البارد أم جالون من البنزين الفاتر؟

> **قانون كايو**
>
> الأشياء الوحيدة التي تبدأ في موعدها هي تلك التي أنت متأخر عنها.
>
> مقولة مأخوذة من الإنترنت

## (١٣) النقطة الثلاثية للماء

ما الشيء المميَّز تحديدًا بشأن النقطة الثلاثية للماء التي يتحدَّد تدريج درجات الحرارة الديناميكي الحراري وفقًا لها؟ نعني بهذا أن الكلفن يساوي ١ / ٢٧٣,١٦ من النقطة الثلاثية للماء. تلميح: تدبَّر ما يحدث عندما يدخل مقدار طفيف إضافي من الطاقة الحرارية إلى وعاء مغلق به الثلج والماء وبخار الماء عند درجة حرارة صفر مئوية (٢٧٣,١٦ درجة كلفنية).

## (١٤) أخلاط الأملاح الباردة

في عام ١٧١٤م اختار جابرييل فهرنهايت لنقطة الصفر على تدريج الحرارة الخاص به أدنى درجة حرارة أمكن الوصول إليها في ذلك الوقت في المعمل؛ وهي درجة −١٧,٧ درجة مئوية. وقد تم الوصول إلى هذه الدرجة باستخدام خليط من الماء والثلج المجروش وكلوريد الأمونيوم (ملح النشادر). ومن المفارقة أنه رغم أن درجة حرارة هذا الخليط تنخفض بمقدار نحو ١٨ درجة مئوية، فإن محتوى الطاقة يظل دون تغيير إذا عُزل عن البيئة المحيطة به. كيف يكون هذا ممكنًا؟

## (١٥) تبريد أم تدفئة؟

لماذا تستطيع أن تدفئ يديك عن طريق النفخ فيهما برفق، بينما تستطيع أن تبردهما عن طريق النفخ فيهما بقوة؟

أُجريت أول تجربة حقيقية معروفة لتجميد الطعام على يد فرانسيس بيكون، الذي كان يسافر عبر الجليد في عام ١٦٢٦م، وتساءل إن كان بالإمكان استخدام الثلج في حفظ اللحم. وقد أوقف العربة التي تجرُّها الخيل التي كان يركبها واشترى دجاجة، وجعلهم يذبحونها وينظِّفونها له. ثم ذهب إلى الخارج، وحشا الدجاجة الذبيحة ولفَّها بالثلج. وقد كتب أن تجربته الخاصة بحفظ اللحم «نجحت نجاحًا باهرًا»، لكن بعد ساعات قليلة تُوفي بيكون نتيجة الالتهاب الرئوي، الذي أصيب به نتيجة عبثه بالثلج.

توم شاكتمان

## (١٦) تكييف الهواء في الطائرات الحديثة

لماذا تقوم الطائرات الحديثة في خطوط الطيران التجارية بتدوير الهواء الموجود داخلها أكثر مما كانت تفعل الطائرات في العقود السابقة؟

الأرواح العظيمة دائمًا ما تواجَه بمعارضة عنيفة من العقول المتواضعة المستوى.

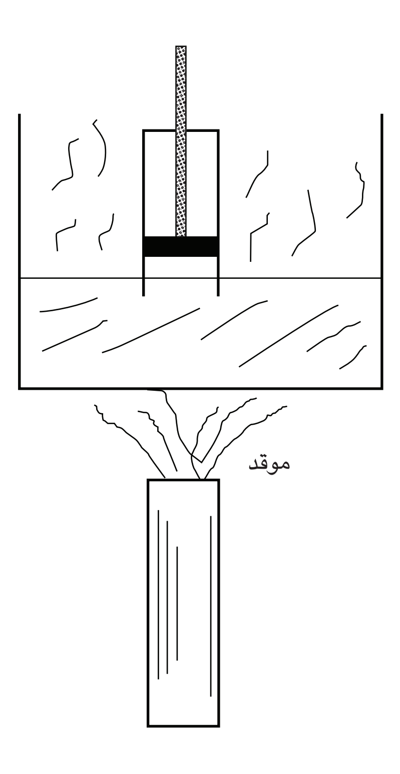
ألبرت أينشتاين

## (١٧) لهب الشمعة

في حالة وضع كوب مقلوب فوق شمعة مشتعلة موضوعة على صحن به ماء، ما الذي تتوقَّع حدوثه؟ ولماذا؟

> عام ١٩٠٦م، أَقْدَمَ لودفيج بولتزمان، الذي أفنى معظم حياته في دراسة الميكانيكا الإحصائية، على الانتحار. وفي عام ١٩٣٣م أنهى بول إرنفست، الذي واصل دراسة المجال ذاته، حياته بالطريقة عينها (وكذلك فعل تلميذ آخر يدعى بيرسي بريدجمان)، والآن حان دورنا لدراسة الميكانيكا الإحصائية. ربما يكون من الحكمة أن نتناول الموضوع في شيء من الحرص.
>
> ديفيد إل جودشتاين

## (١٨) مكبسٌ في كأسٍ زجاجية



يُظهر الشكل كأسًا زجاجيَّة بها ماء موضوع به وعاء زجاجي مقلوب به مكبس متحرِّك لا يلمس سطح الماء. بفرض أن الماء في درجة حرارة الغرفة وأنك رفعت المكبس قليلًا، فما الذي تتوقَّع حدوثه؟ وبفرض أنك تبدأ والمكبس موضوع فوق ماء مغلي، فما الذي تتوقَّع حدوثه في هذه الحالة؟

## (١٩) قهوة باللبن

هذه المسألة الشهيرة دائمًا ما تكون مثيرة للاهتمام. هَبْ أنك تريد أن تجعل قهوة الصباح تبرد قليلًا في غضون خمس دقائق بحيث تصير درجة حرارتها مقبولة، فهل تصبُّ اللبن البارد أولًا ثم تنتظر خمس دقائق قبل أن تشرب القهوة، أم تنتظر خمس دقائق قبل إضافة اللبن البارد إلى القهوة؟

> لا توجد أدنى بادرة على أن الطاقة [النووية] سيكون من الممكن الحصول عليها يومًا ما؛ فهذا من شأنه أن يعني أن نشطر الذرة وقتما نشاء.
>
> ألبرت أينشتاين (١٩٣٢م)

## (٢٠) لغز الطاقة

لدينا وعاءان متماثلان من أوعية المختبر، يربط بينهما أنبوب رفيع مزوَّد بصِمام تحكُّم. في البداية، يكون السائل كلُّه في الوعاء الأيسر، ويصل حتى ارتفاعٍ قدره $h$. عند فتح الصِّمام ينساب السائل من الوعاء الأيسر إلى الأيمن، وفي النهاية يستقر النظام عندما يكون مستوى السائل في كل وعاء من الوعاءين $h/2$.

طاقة وضع الجاذبية الابتدائية للسائل هي $W(h/2)$؛ أي الوزن مضروبًا في الارتفاع إلى مركز الجاذبية. في الحالة النهائية تكون طاقة وضع الجاذبية الإجمالية هي: $2(W/2)(h/4) = W(h/4)$؛ وهو نصف مقدار طاقة وضع الجاذبية الابتدائي. لقد اختفى نصف مقدار طاقة وضع الجاذبية! لماذا؟

في العلم يوجد فقط الفيزياء، أما ما دون ذلك فهو بمنزلة جمع الطوابع.

إرنست رذرفورد (الفرع الذي حصل فيه رذرفورد على جائزة نوبل هو الكيمياء)

## (٢١) إزالة الرطوبة

تبريد الهواء في غرفة بواسطة مكيِّف الهواء ينبغي أن يكون مصحوبًا بإزالة الرطوبة! لماذا؟

لا بد أن يكون الجحيم متَّسمًا بالتساوي الحراري، وإلا فإن المهندسين والكيميائيين المقيمين فيه (من المؤكد وجود بعضهم هناك) سيمكنهم بناء محرِّك حراري لتشغيل ثلاجة من أجل تبريد جزء من المنطقة المحيطة بهم إلى أي درجة حرارة يرغبونها.

هنري إيه بِنت

## (٢٢) تبريد الهواء بواسطة الثلاجة

هَبْ أنك قرَّرت أن تبرِّد هواءَ مطبخك عن طريق ترك باب الثلاجة مفتوحًا. هل ستنجح هذه الفكرة؟

يذكر أحد كتب الطهي الشعبية إرشادات خاصة بتحديد الطاقة (المُنتَجة) الخاصة بالميكروويف على النحو التالي: سخِّن لترًا من الماء الفاتر لمدة دقيقتين. اضرب مقدار التغير في درجة الحرارة، بالدرجات المئوية (السيليزية)، في الرقم ٣٥. الناتج هو الطاقة المُنتَجة بالواط.

## (٢٣) الهواء والماء

الهواء والماء اللذان لهما درجة الحرارة عينها — ٢٥ درجة مئوية مثلًا — لا نشعر أن لهما نفس درجة الحرارة. ومن الممكن ملاحظة هذا الاختلاف على الفور عند القفز من

هواء تبلغ درجة حرارته ٢٥ درجة مئوية إلى حمام سباحة يحوي ماءً درجة حرارته ٢٥ درجة مئوية. فما سبب هذا الاختلاف؟

## (٢٤) تبريد الماء الساخن والبارد

في حالة وُضع دَلْوان خشبيَّتان متماثلتان، دون غطاء، في جوٍّ قارس البرودة، وكانت الدلو (أ) تحتوي على ماء ساخن بينما الدلو (ب) تحتوي على مقدار مماثل من الماء البارد، فأيُّ الدَّلْوين ستبدأ في التجمُّد أولًا؟

> الفيزيائي النظري: هو شخص سادي يبتكر مهامَّ مستحيلة كي يؤدِّيَها الفيزيائيون التجريبيون.
>
> إيرا إم فريمان

## (٢٥) التزلُّج على الجليد في يوم بارد للغاية

لماذا يكون التزلُّج على الجليد أصعب حين تكون درجة حرارة سطح الجليد باردة للغاية؟

> الفيزيائي هو سبيل الذرة للمعرفة بشأن الذرات.
>
> مجهول

## (٢٦) صرير الثلج

يمكن أن يتسبَّب السير على الثلج في يوم بارد للغاية في إصدار صوت صرير، لكن في المعتاد لا يكون هناك صوت صرير حين تكون درجة الحرارة أقل بالكاد من نقطة التجمُّد. لماذا؟

> المعجزة هي أن الكون خَلَق جزءًا من نفسه كي يدرس بقية الأجزاء، وأن هذا الجزء بدراسته لنفسه يجد بقية الكون في حقائقه الطبيعية الداخلية.
>
> جون سي ليلي

## (٢٧) التصاق مكعبات الثلج

تلتصق مكعبات الثلج الموضوعة في دلو معًا. لماذا؟

> كل مرة تشرب فيها كوبًا من الماء، فأنت تستهلك على الأرجح ما لا يقل عن ذرة واحدة عبرت من مثانة أرسطو. إنها نتيجة مفاجئة، لكنها تنبع من الملاحظة [البسيطة] التي تقضي بأن عدد الجزيئات في كوب الماء يفوق كثيرًا عدد أكواب الماء التي يحويها البحر.
>
> ريتشارد دوكينز

## (٢٨) الثلج الساخن

هل يمكن أن يكون الثلج ساخنًا لدرجة أن تحترق أصابعك عند لمسه؟

> التجارب التي لم تُجرَ لا نتائج لها.
>
> مجهول

## (٢٩) بِرْكَة والدِن في الشتاء

تستفيد الأسماك وغيرها من الكائنات من حقيقة أن الماء يتمدَّد قبل تجمُّده. لِمَ تُعَد هذه الحقيقة الشائعة مهمة للأسماك الموجودة في بِركة والدِن في الشتاء؟

> هناك آلاف الطرق للتعامل مع المشكلة على نحو خاطئ، وليس كل هذه الطرق سيئًا. وهناك طرق عدة للتعامل مع المشكلة على نحو سليم، وليس كل هذه الطرق جيدًا.
>
> ديفيد جريفيث

## (٣٠) إطفاء مصابيح الإضاءة

هل علينا أن نحرص على إطفاء مصابيح الإضاءة المتوهجة في المنازل من أجل «توفير الطاقة» في الشتاء وفي الصيف؟ (أضيفت علامات التنصيص للإشارة إلى أن المقصود من هذا التعبير أن مقدارًا أقل من الطاقة الكهربائية يكون مطلوبًا من شركة الطاقة.)

## (٣١) غلاية الشاي المعدنية

بعض غلايات الشاي لها مقابض معدنية. أليس ذلك التصميم خطيرًا؟

> الديناميكا الحرارية موضوع عجيب؛ فالمرة الأولى التي تدرسها، لا تفهم منها شيئًا على الإطلاق، والمرة الثانية التي تدرسها، تظن أنك تفهمها، عدا نقطة أو نقطتين، وفي المرة الثالثة التي تدرسها تعرف أنك لا تفهمها، لكن بحلول ذلك الوقت تكون قد اعتدت عليها؛ لذا لا يضايقك الأمر بعدها.
>
> أرنولد سومرفيلد

## (٣٢) الغسيل المتجمِّد

الغسيل الرطب المعلَّق على حبل الغسيل في يوم بارد كي يجفَّ سوف يتجمَّد عندما تقل درجة الحرارة عن درجة التجمُّد. في الأيام الباردة للغاية، يبدو الثلج الذي تكوَّن على الغسيل من قبلُ وكأنه اختفى تمامًا، لكن دون أن تبتل الملابس. كيف يحدث هذا؟

## (٣٣) آيس كريم باللبن

يحب البعض إضافة اللبن إلى وعاء الآيس كريم. يبدو هذا المزيج أكثر برودةً بكثير على اللسان وفي الفم مقارنةً بالآيس كريم وحدَه. ما العمليات الفيزيائية المتسبِّبة في هذا الأمر؟

## (٣٤) ارتداء قبعة في الشتاء

لِمَ ينبغي للمرء ارتداء قبعة في الأيام الشديدة البرودة؟

> العلم موجَّه (إجمالًا) بواسطة «الهَوَس الجمعي وحالات الشيزوفرينيا المتحكَّم بها» أكثر من كونه موجَّهًا بالملاحظة غير المتحيِّزة.
>
> آرثر كويستلر

## (٣٥) تَرْك السيارة بالخارج

عند تَرْك سيارة بالخارج في ليلة صافية، ثم تَرْكها مرة أخرى في ليلة غائمة، وبفرض أن درجة حرارة الهواء مقارنةً بتوقيت الساعة واحدةٌ في كلتا الليلتين، نجد أن طبقة كثيفة من الرطوبة ستتكوَّن على السيارة في الليلة الصافية، لكن هذا لا يحدث عادةً في الليلة الغائمة. فما السبب وراء هذا الاختلاف؟

## (٣٦) عبوتان معدنيتان من الماء الساخن لهما لونان مختلفان

في حالة ملء عبوتين معدنيتين متماثلتين بالمقدار عينه من الماء الساخن الذي له نفس درجة الحرارة، والاختلاف بين العبوتين أن إحداهما سوداء اللون من الخارج والأخرى بيضاء اللون، فما الذي تتوقَّع حدوثه لدرجة حرارة الماء مع مرور الوقت؟

## (٣٧) ضوء الشمس

يتعجَّب الطلاب كثيرًا كيف للهواء أن يكون لطيفًا أو حتى باردًا في الشتاء رغم ضوء الشمس الساطع. هل من اقتراحات؟

يُروى عن جورج جاموف أنه اخترع عجلة مثالية دائمة الحركة. ثَبَّت على برامق العجلة بالأسفل الأرقام ستة بالإنجليزية 6 التي كانت تتغير إلى الأرقام تسعة 9 عندما تلف العجلة وتصل إلى أعلى؛ وبذا كانت الناحية العلوية دائمًا أكبر بنسبة ٥٠ بالمائة من السفلية. وحده الاحتكاك في المَحمِل هو ما كان يمنع التدمير الذاتي.

## (٣٨) مِدْفأة الفيزيائي

هل يعتمد مقدار الطاقة الحرارية الذي تُشعُّه المدفأة داخل الغرفة على الكيفية التي يُرَص بها حطب المِدفأة؟

**قانون ميرفي للديناميكا الحرارية**

تحت الضغط، تسوء الأمور.

## (٣٩) إشعاع الجسم الأسود

إشعاع الخلفية الكوني هو أفضل مثال معروف لإشعاع الجسم الأسود. وأفضل تقريب لأحد مصادر إشعاع الجسم الأسود يمكن تنفيذه بصورة عملية هو فرن به ثقب صغير. لكن لماذا يفشل هذا الفرن في تحقيق إشعاع الجسم الأسود المثالي؟

كل النظريات رمادية، أما شجرة الحياة، يا صديقي، فهي خضراء.

يوهان فولفجانج فون جوته

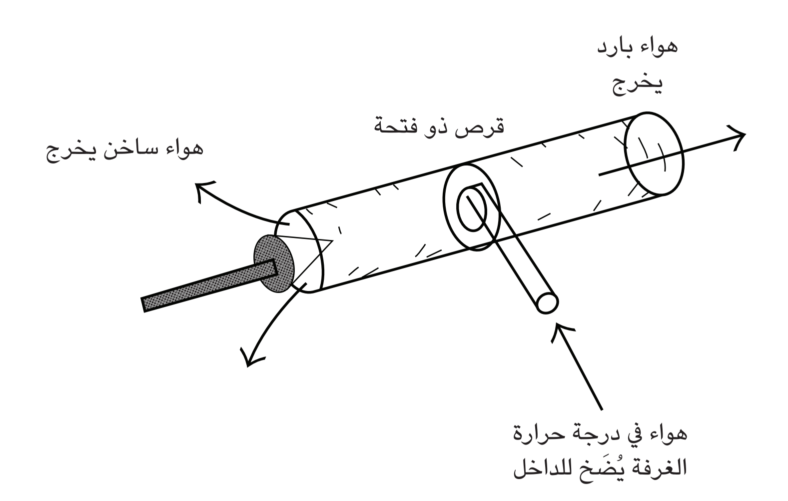
## (٤٠) تفرُّد الماء*

الماء والسليكون والجرمانيوم وسبائك الفضة الخالصة وسبائك الرصاص والقصدير والأنتيمون تشترك كلها في خاصية فيزيائية نادرة؛ أنها تتمدَّد عند التجمُّد. ما الخاصية القريبة من ذلك التي يتفرَّد بها الماء وحده؟

> مرات عديدة حضرتُ فيها في تجمُّعٍ من الأشخاص الذين ... يُظَن أنهم ذوُو ثقافة عالية، والذين يعبِّرون في حماسة عن تشكُّكهم في جهل العلماء. وفي مناسبة أو مناسبتين شعرتُ بالاستفزاز وسألت الحضور كم منهم يستطيع وصف القانون الثاني للديناميكا الحرارية. كانت الإجابة فاترة، كما كانت سلبية كذلك. ومع ذلك فقد كنت أسأل عن شيء هو المعادل العلمي للسؤال: «هل قرأت عملًا من أعمال شكسبير؟»
>
> سي بي سنو

## (٤١) نَفْث الهواء الساخن والبارد*

يستطيع أنبوب دوَّامة رانك-هيلش أن يفصل الهواء إلى تيار من الهواء الساخن وتيار من الهواء البارد، دون أن تكون به أي أجزاء متحركة. فالهواء المضغوط المدفوع عبر الفوَّهة الجانبية في درجة حرارة الغرفة يخرج في درجة حرارة تتجاوز ٢٠٠ درجة مئوية من أحد الجانبين، ودرجة حرارة –٥٠ من الجانب الآخر. ولا توجد أدوات تبريد أو تدفئة داخل الأنبوب. فكيف يعمل أنبوب الدوامة؟



الكون هو التجسيد الخارجي للروح.

رالف والدو إيمرسون

الفصل الثاني

# عالمٌ من الألوان

نحن نرى العالم بواسطة الضوء الذي يدخل أعيننا ويحفِّز أعصابنا، التي تبعث رسائل إلى أمخاخنا. ونحن نميل إلى تصديق كل ما نراه. وفي الواقع، يوجد القول المأثور «الرؤية خير برهان» على الأرجح في كل اللغات والحضارات الموجودة على الأرض. ومع ذلك، ما برحت الخبرات الحياتية والمُعَدَّات البصرية تكشف لنا على مدار مئات الأعوام عكس ذلك تمامًا؛ أنه من السهل تمامًا خداع منظومة العين/المخ. ويكفيك فقط أن تشاهد فيلمًا من أفلام الغرب الأمريكي القديمة وترى عجلات العربات وهي تدور في الاتجاه المعاكس كي تبدأ في إدراك مدى قصور الرؤية لدينا. لكن هناك أيضًا تأثيرات أكثر تعقيدًا ينبغي تدبُّرها؛ مثل الصور الطافية والأفيال المختفية.

## (١) زاوية من مرآتين

ضع مرآتين مستويتين بحيث تكوِّنان زاوية قائمة فيما بينهما. صِفِ الصورة التي ستبدو بها حين تنظر إلى خط الزاوية المتكوِّنة بواسطة هاتين المرآتين. أين يدك اليسرى؟

> تمهلي! أي ضوء هذا الذي يشع من نافذتك؟
>
> ويليام شكسبير

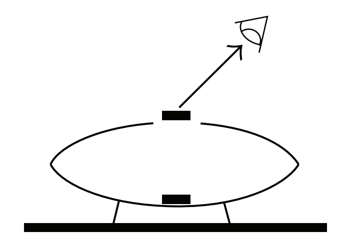
## (٢) الفيل المختفي

يُرِي ساحرٌ جمهوره فيلًا على خشبة المسرح موضوعًا داخل قفص كبير له قضبان رأَسية وسقف. وما إن يعطِ الساحر إشارته حتى يختفي الفيل. ما العملية الفيزيائية التي تفسِّر الأمر؟ (تلميح: سيحتاج المرء إلى مرآتين مستويتين كبيرتين.)

> ثمة مفارقة تكتنف المنهج العلمي؛ فالباحث يفكِّر عادةً ويعمل كما الفنان، لكن عليه أن يتحدَّث مثل كاتب الحسابات، بالحقائق والأرقام وتتابعات الأفكار المنطقية.
>
> إتش دي سميث

## (٣) الصورة الطافية

كل شخص تقريبًا رأى «صحن السراب» المصنوع من مرآتين مقعَّرتين متقابلتين، مع وجود فتحة في مركز المرآة العلوية. تظهر صورة عملة معدنية أو لُعبة صغيرة موضوعة بالداخل على أنها تطفو فوق الفتحة. كم عدد الانعكاسات المطلوبة لإنتاج الصورة الطافية؟ وهل هذه الصورة حقيقية أم افتراضية؟



## (٤) إضاءة صورة

سلِّط شعاع ضوء من مصباح يدوي على الصورة المنتَجة بواسطة «صحن السراب» (انظر السؤال السابق)، الذي به مرآتان مقعَّرتان متقابلتان، وتظهر الصورة طافية فوق الفتحة المركزية للمرآة العلوية. هل ستُضاء الصورة بواسطة شعاع المصباح اليدوي؟

قُطر الشمس أكبر من قُطر القمر ٤٠٠ مرة، وهي تبعد عنَّا بنحو ٤٠٠ مرة قدر ابتعاد القمر عنَّا. ولولا هذه المصادفة المذهلة، لم يكن للكسوف الشمسي أن يحدث.

## (٥) التواصل بشعاع الليزر

أنت ترى محطة فضائية موجودة فوق الغلاف الجوي وفوق الأفق تمامًا، وترغب في التواصل مع المحطة الفضائية عن طريق إرسال شعاع من الليزر إليها. هل عليك أن تصوِّب شعاع الليزر (أ) فوق المحطة بقليل، أم (ب) تحت المحطة بقليل، أم (ج) مباشرة على امتداد خط الرؤية إلى المحطة؟

## (٦) العصا المنثنية

شغِّل مصباحًا يدويًّا وسلِّط ضوءه على حوض زجاجي مليء بالماء. سترى أن شعاع الضوء يغير اتجاهه بزاوية حادة «لأسفل» عند نقطة دخوله الماء. بعد ذلك ضَعْ عصًا مستقيمة داخل الماء بزاوية مائلة. سيبدو أن الجزء الموجود من العصا داخل الماء يغيِّر اتجاهه بزاوية حادة «لأعلى». لِمَ هذا التناقض؟

## (٧) الثقب الصغير

هل بمقدور المرء أن يستخدم ثقبًا صغيرًا كي يقيس قُطر الشمس؟

إن مقدار التكيُّف المطلوب من العين عند تحرُّك الجسم المرئي من مسافة لا نهائية حتى مسافة قدرها متر واحد فقط صغير للغاية، فكلُّ ما يتطلَّبه الأمر ترحيل الصورة للأمام بمقدا ٠٫٠٦ ملِّيمتر. وعلى النقيض من ذلك، فإن تحريك الجسم من مسافة متر واحد إلى ١ / ٨ من المتر يتطلَّب قدرًا من التكيُّف يكفي لترحيل الصورة بمقدار ٣٫٥١ ملِّيمترات إضافية من أجل الإبقاء عليها في شبكية العين. فقراءة هذه الفقرة تتطلَّب جهدًا جهيدًا. ودراسة الأشياء القريبة للغاية لفترة طويلة هي إحدى مسبِّبات إجهاد العين؛ إذ يبدو أننا صُمِّمنا للنظر إلى الأشياء ومشاهدتها من بعيد وحسب.

يوجين هيشت

## (٨) النافذة

عندما تنظر من الخارج إلى نافذة مفتوحة أثناء النهار، ستبدو النافذة مظلمة. لماذا؟

> العلم دون الدين أعرج، والدين دون العلم أعمى.
>
> ألبرت أينشتاين

## (٩) غطاء النافذة

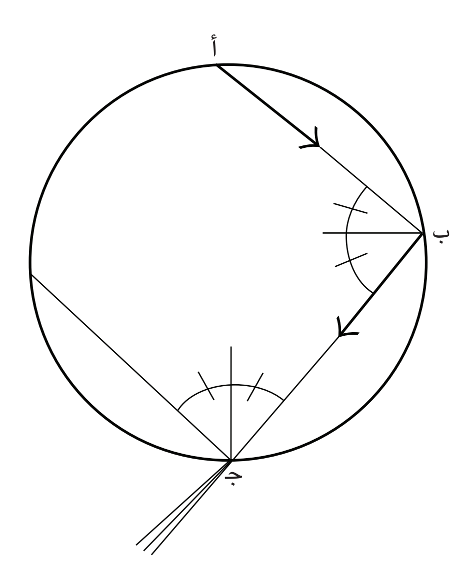
من شأن وضع غطاء بلاستيكي مطلي بأكسيد معدني على لوح النافذة الزجاجي من الداخل بهدف تقليل الضوء الداخل إلى الحجرة؛ أن يجعل الحجرة أقل حرارةً في الصيف. هل عليك أن تزيل هذا الغطاء في الشتاء؟

> الأجرام السماوية تبدو أعلى قليلًا فوق الأفق مما هي عليه في الواقع، وهذه الإزاحة تزداد كلما اقتربت هذه الأجرام من الأفق. وهذا يفسِّر تسطُّح قرص الشمس عند الأفق. ففي وقت الغروب تبدو الحافة السفلية لقرص الشمس، في المتوسط، أعلى بـ ٣٥ دقيقة قوسية عما هي عليه في الواقع، لكن الحافة العلوية تبدو أعلى بـ ٢٩ دقيقة قوسية فقط. ومن ثم يبلغ مقدار التسطُّح ٦ درجات قوسية، أو حوالي ١ / ٥ قُطر الشمس.

## (١٠) قوس قُزَح

من أولى خطوات تفسير قوس قُزَح دراسة تشتُّت الضوء داخل قطرة المطر. يُظهِر الشكل أن شعاع الضوء الداخل في قطرة مطر كروية عند النقطة (أ) يمر بانعكاس داخلي كامل عند النقطة (ب)، ثم يغادر القَطْرة من النقطة (ج). في كلتا النقطتين (أ) و(ج) هناك سطح واصل بين الماء والهواء تحدُث عنده عملية الانكسار من أجل تغيير اتجاه الضوء. وينقسم الضوء الخارج من النقطة (ج) إلى كل الألوان المكوِّنة لِلطَّيْف المرئي، وهو ما يُنتِج قوس قُزَح.

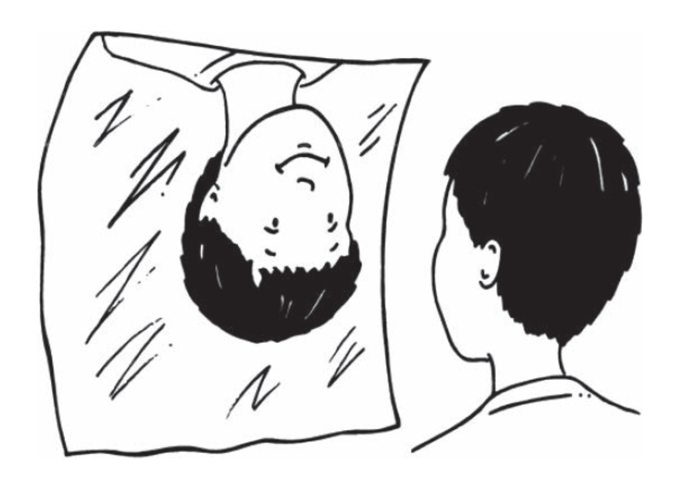
ومع ذلك، يمكننا أن نبيِّن أن شعاع الضوء الذي مرَّ بانعكاس داخلي كامل مرة واحدة داخل القَطْرة لن يخرج مطلقًا من القطرة (أي إنه سيحدُث انعكاس داخلي كامل آخر عند النقطة (ج)، وهكذا دوالَيْك). كيف يمكن حلُّ هذه المشكلة كي يَنتُج لنا قوس قُزَح؟




## (١١) لغز بصري

إذا ثنيتَ قطعة رقيقة معدنية مستطيلة على شكل قوس، بالتوازي مع البُعد الطولي للقطعة المستطيلة، ونظرتَ إلى انعكاسك في السطح المقعَّر لهذا القوس، فستبدو الصورة مقلوبة. الآن أَدِر القطعة ببطء بمقدار ٩٠ درجة حول خط الرؤية بحيث يصير البُعد الطولي أفقيًّا. ما الذي تراه؟

> الفيزياء صورة من صور البصيرة مثلما هي صورة من صور الفن.
>
> ديفيد بوم



## (١٢) مرآة الرؤية الخلفية

عندما تحرِّك الرافعة الصغيرة الموجودة في مرآة الرؤية الخلفية في سيارتك من أجل إمالة المرآة لتصبح في وضع الرؤية الليلية، لماذا لا تغير هذه الحركة اتجاه الرؤية مثلما تغير شدة وضوح الصورة؟

في المعتاد، تنخفض درجة الحرارة بمقدار درجة واحدة فهرنهايتية مع كل ارتفاع بمقدار ٣٠٠ قدم. نتيجة لذلك، تبدو الأجسام البعيدة أدنى مما ستكون عليه في حالة غياب هذا التدرُّج في درجة الحرارة. وإذا ارتفعت درجة الحرارة بدلًا من أن تنخفض، كما هو شائع في القطب الشمالي، فسينحني الضوء على نحو مختلف ونرى عالمًا مختلفًا للغاية. فالأجسام البعيدة تبدو مرتفعة، وهو ما يجلب الأجسام غير المرئية في المعتاد إلى نطاق الرؤية.

## (١٣) ألوان

يبدو القميص الأخضر باللون الأخضر لأن الضوء الأخضر يتم تشتيته انتقائيًّا من جانب القميص نحو أعيننا. هل هذا صحيح أم خطأ؟

سيَثبُت أن الأشعة السينية محض خداع.

لورد كلفن

## (١٤) الألوان الأوَّلية

الألوان الأوَّلية الوحيدة للضوء هي الأحمر والأخضر والأزرق. هل هذا صحيح أم خطأ؟

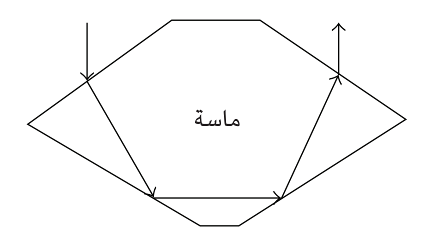
**تورية ثلاثية**

اشترى ثلاثة أشقَّاء مزرعة ماشية وسمَّوها بالإنجليزية Focus (وتعني بالعربية البؤرة)، وحين سألهم والدهم لماذا اختاروا هذا الاسم، ردوا عليه بقولهم: «لأنه المكان الذي يربِّي فيه الأبناء الماشية من أجل لحومها.» (وفي هذا تورية بالإنجليزية لأن العبارة الأصلية where the sons raise meat عند نطقها يمكن أيضًا أن تُسمع على النحو التالي where the sun rays meet بمعنى: المكان الذي تتجمع فيه أشعة الشمس، ومن هنا جاءت تسميتهم للمزرعة باسم «البؤرة».)

بروفيسور دبليو بي بيتنبول (أسهم بها ألبرت إيه بارتليت)

## (١٥) ماسة مقطوعة ببراعة

يدخل الضوء الأبيض من أحد جوانب ماسة مقطوعة ببراعة بزاوية تزيد بعدة درجات عن زاوية الدخول الطبيعية. وبعد أن ينعكس الضوء مرتين من مؤخرة الماسة، يخرج شعاع الضوء عبر جانب آخر مشابه نحو أعيننا. ما الذي سنراه؟



## (١٦) إعادة تجميع الضوء الأبيض

عام ١٦٦٥م، قبل أن يبدأ نيوتن دراسته للموشورات بحوالي عام، كان فرانشيسكو جريمالدي أول من أفاد بأنه يمكننا استخدام عدسة في إعادة توحيد الألوان التي فصلها الموشور لطَيْف ضوء الشمس من أجل إنتاج ضوء أبيض. ما العملية الهندسية المطلوبة لتحقيق هذا الأمر؟

> استخدِم الضوء الذي بداخلك كي تستعيد صفاء بصرك وبصيرتك.
>
> لاو تزو

## (١٧) موشورات

يمرُّ شعاع رفيع من الضوء عبر موشور زجاجي يشتِّت الضوء إلى الألوان المكوِّنة له. هل يمكن إعادة تجميع أشعة الألوان هذه على صورة ضوء أبيض عن طريق تمريرها عبر موشور مماثل معكوس؟

## (١٨) تضييق العينين

لماذا يساعد تضييق العينين الأشخاص قصار النظر على الرؤية بوضوح أكبر؟ ولماذا لا نملك نظارات بها ثقوب رفيعة من أجل تحسين الرؤية لدى قصار النظر؟

> أكثر الصفات التي يتسم بها العالم استعصاءً على الفهم أنه كله قابل تمامًا للفهم.
>
> ألبرت أينشتاين

## (١٩) نظارات شمسية مستقطَبة

النظارات الشمسية المستقطَبة مصمَّمة بحيث تنقل فقط الضوء المستقطَب أفقيًّا. وسبب هذا الاتجاه الرأسي هو أن أغلب الأضواء الساطعة المنعكسة (أشعة الضوء المنعكسة

تكون موازية بعضها لبعض) من الأجسام الأفقية تكون مستقطَبة أفقيًّا. وبهذا تقلِّل هذه النظَّارات من وهج الانعكاسات الآتية من الماء والأرض والأسفلت وما إلى ذلك. بفرض أن العدسة اليمنى موجَّهة على نحو خاطئ بانحراف قدره ٣٠ درجة عن الرأسي، فما الذي ستراه؟

> من الخطأ الاعتقاد بأن مهمة الفيزياء هي معرفة الكيفية التي عليها الطبيعة؛ فالفيزياء مَعنيَّة بما نقوله عن الطبيعة.
>
> نيلز بور

## (٢٠) حدة الإبصار

تخبرنا نظريةُ الحيود بأن حدة الإبصار الخاصة بالعين البشرية ينبغي أن تزيد بالتناسب عكسيًّا مع الطول الموجي؛ بمعنى أن زاوية الفصل المحدِّدة ينبغي أن تكون أقل (أفضل) في حالة درجات اللون الأزرق مقارنةً بدرجات اللون الأحمر. لكن العين البشرية تتسم في الواقع بذِرْوة حدة الإبصار عند درجة اللون الأخضر على طول موجي قدره ٥٧٦ نانومترًا. ما سبب هذا التناقض؟

## (٢١) نقاط ليزرية

انعكاس ضوء الليزر عن أي جسم يبدو كما لو أنك ترى نقطة الليزر من خلال قطعة قماش نايلون مشدودة. كيف تفسِّر هذا؟ كذلك فإنك عندما تحرِّك رأسك إلى أي الجانبين، يتحرك تأثير النايلون في الاتجاه المعاكس!

## (٢٢) المرشح الأحمر

اكتب الحرف R بلون أحمر والحرف B بلون أزرق على ورقة بيضاء باستخدام قلم تلوين. الآن انظر إلى هذين الحرفين عبر مرشِّح أحمر اللون؛ أي مادة تمرِّر فقط اللون الأحمر. حينها لا ترى الحرف R. فلماذا؟

عقابًا لي على ازدرائي للسلطة، جعل القدر مني أنا نفسي سلطة.

ألبرت أينشتاين

## (٢٣) صور حمراء وزرقاء

هل تكوِّن صورتان، إحداهما حمراء والأخرى زرقاء، منطبعتان على الشبكية في الوقت عينه شكلين لهما الحجم عينه؟

حوالي ٢ إلى ٥ بالمائة فقط من طاقة مصباح الإضاءة المتوهج يُشَع على صورة ضوء مرئي.

## (٢٤) الألوان في الضوء المحيط

وأنت في غرفة مضاءة بواسطة أضواء اصطناعية من مصابيح كهربائية و/أو فلوروسنت، انظر إلى ألوان ملابسك. بعد ذلك امشِ إلى الخارج نحو ضوء الشمس أو الظل وانظر إلى ملابسك؛ ما الذي ستراه؟ ولماذا؟

أسمع فأنسى،

أرى فأتذكر،

أفعلُ فأفهم.

مَثَل صيني

## (٢٥) الرؤية حول الزوايا

لِمَ يمكننا أن نسمع الصوت من وراء زاوية، ولا يمكننا رؤية ما يوجد هناك؟

اكتُشف الديوتيريوم عام ١٩٣٢م وأُطلق على نواته في البداية اسم الديوتون deuton. وثمة قصة، مشكوك في صحتها، تقول إن إرنست رذرفورد اعترض على اسم الديوتون؛ إذ لم يعجبه وَقْع الاسم. وقد اقترح بدلًا من ذلك أنه إذا تم إدخال الحرفين الأوَّلين من اسمه بالإنجليزية، E وR، فسيستقيم وَقْع الاسم؛ ومن هنا جاءت تسمية النواة بالاسم الديوترون deuteron.

## (٢٦) تأثير مجسَّم

أشعة الضوء اللامعة التي تُومِض من بلَّورات الثلج يمكن أن تجعل هذه البلَّورات تبدو وكأنها موجودة في الفضاء الذي يعلو السطح الحقيقي. يمكنك رؤية هذا التأثير عينه من خلال النظر إلى سطح ألواح الألومنيوم المصنَّعة بالآلات، والتي تظهر بها آثار القَطْع على ارتفاع يزيد عن القدم على السطح! ما العمليات الفيزيائية المسئولة عن هذا؟

## (٢٧) لون العين

لِمَ يملك معظم الأطفال المولودين حديثًا عيونًا زرقاء اللون؟ وما العملية الفيزيائية التي تمنح عيونهم ألوانها؟

لا أشك في أن الكون ليس أغرب مما نظن وحسب، بل إنه أغرب مما يمكننا أن نظن.

جون بي إس هالدان

## (٢٨) ملابس معدنية

عادةً ما يرتدي العاملون في أفران المجمرة المكشوفة ملابس واقية مطلية من الخارج بطبقة معدنية رقيقة. بما أن المعدن موصِّل جيد للحرارة، فيبدو ارتداء هذه الملابس أمرًا مجافيًا للمنطق (ربما باستثناء الناحية الجمالية؛ إذ إن انعكاس الضوء على الملابس يمنحها مظهرًا مبهرًا). كيف تحمي الملابس المعدنية العمَّال من الحرارة؟

من الممكن أن نَصِف كل شيء علميًّا، بَيْد أن هذا سيكون أمرًا غير ذي معنًى؛ تمامًا مثل وصْفِنا إحدى سيمفونيات بيتهوفن بأنها تجميعة متنوِّعة من الضغوط الموجية.

ألبرت أينشتاين

## (٢٩) السماء ينبغي أن تكون بنفسجية*

يقوم التفسير المعتاد لسبب زرقة لون السماء على مبدأ تشتُّت رايلي، الذي يقضي بأن الطرف الأزرق للطَّيف المرئي لضوء الشمس يتشتَّت بفعالية أكبر من الطرف الأحمر. في الواقع، يعادل تشتُّت رايلي هذا، المعروف أيضًا بالتشتت المترابط، القوة الرابعة لتردُّد الضوء؛ بحيث تتشتَّت درجات الضوء الأزرق بشدة تزيد ست عشرة مرة عن درجات الضوء الأحمر. ومع تشتُّت درجات الضوء الأزرق بهذه الفعالية في السماء بواسطة جزيئات الهواء، فإننا نرى السماء زرقاء والشمس مُخَضَّبة بالحمرة. لكن الضوء البنفسجي الواقع في أقصى طرف طيف الضوء المرئي له تردُّد أكبر من الضوء الأزرق. لماذا لا تبدو السماء بنفسجية إذن؟

**الفيزياء مثلها مثل ممارسة الجنس**

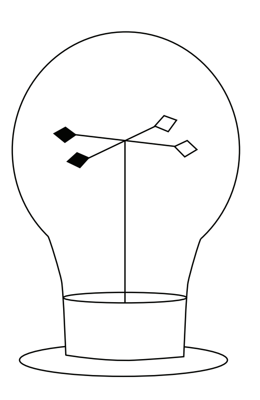
بالطبع قد ينتج عنها بعض النتائج العملية الملموسة، بيد أن هذا ليس السبب من وراء ممارستنا إياها.

ريتشارد فاينمان

## (٣٠) راديومتر كروك ١*

يتكوَّن راديومتر من أربع ريشات تدور في حرية حول محور ارتكاز داخل جسم زجاجي منتفخ على شكل مصباح يحتوي على هواء في ضغط منخفض للغاية. لكل ريشة جانب أسود اللون يمتصُّ الضوء في يُسر، بينما الجانب الآخر مفضَّض ويعكس أغلب الضوء الساقط عليه. تدور الريشات حين تُضاء، مع تحرُّك الجوانب السوداء بعيدًا عن

مصدر الضوء وتحرُّك الجوانب المفضَّضة نحوه. الجانب المفضَّض العاكس يكتسب من الزخم عند عكس الفوتون الواحد نحو ضعف ما يكتسبه الجانب الأسود من الزخم عند امتصاص الفوتون. لماذا؟ لأن الانعكاس يغيِّر اتجاه الزخم. فلماذا إذن لا يتحرَّك الراديومتر في الاتجاه المعاكس؟



لا وجود لما يسمَّى بالجهاز الذي لا يمكن للحمقى إساءة استخدامه؛ لأن الحمقى يتفنَّنون في هذا الأمر أيَّما تفنُّن.

مجهول

## (٣١) راديومتر كروك ٢*

يتسبَّب الضوء الساقط على الراديومتر في جعل الريشات تدور إلى الأمام؛ بمعنى أن الجوانب السوداء تبتعد عن مصدر الضوء. هل من الممكن جعل الراديومتر يدور في الاتجاه المعاكس دون فتح الجسم الزجاجي؟

حين يحملق شخص متمتع بالصحة في السماء الزرقاء الصافية فإنه سيرى ما يبدو مثل مذنَّبات صغيرة تندفع عبر الهواء. لكن في الواقع هذه النجوم الصغيرة هي خلايا الدم البيضاء التي تمر عبر شبكية العين.

## (٣٢) الانبعاث الجزئي للضوء*

انزع شريطًا لاصقًا من على سطح زجاجي في الظلام، وإذا كانت عيناك معتادتين على الرؤية في الظلام فسترى وهجًا من ضوء أزرق باهت على امتداد الخط الفاصل بين الشريط والسطح الزجاجي. وبفعل الظاهرة الفيزيائية عينها، بعض رقائق الحلوى ستُطلِق عند كسرها في الظلام ومضةً من الضوء. ما العملية الفيزيائية التي تفسِّر الأمر؟

كل الأشياء مصطنعة؛ إذ إن الطبيعة ذاتها صنيعة يد الله.

سير توماس براون

## (٣٣) انعكاس مرآة مثالي*

من شأن المرآة المثالية أن تعكس الضوء الساقط عليها من كل الزوايا والاستقطابات؛ بحيث تذهب الطاقة كلها داخل الشعاع المنعكس. هل يمكن لمثل هذه المرآة أن توجد؟ (تلميح: تعكس المرآة المعدنية الضوءَ الساقط عليها في كل الاتجاهات، بيد أنها تمتص بعضًا من الضوء الساقط عليها. أما المرآة العازلة كهربيًّا المصنوعة من طبقات متعدِّدة من المواد الشفَّافة العازلة كهربيًّا فتعكس الضوء بدرجة عالية للغاية، لكنها تصلح مع عدد محدود من الترددات، وداخل نطاق ضيِّق للغاية من الزوايا.)

ما يثير اهتمامي حقًّا هو ما إذا كان للإله أي خيار بشأن خلق هذا العالم.

ألبرت أينشتاين

الفصل الثالث

# الموائع

يعتمد سلوك الموائع على الخصائص الفيزيائية لمجموعات الجزيئات التي تتحرَّك معًا كي تمارس تأثيرها في أنماط بسيطة أو معقَّدة. والتحديات الواردة في هذا الفصل لا تتطلَّب أن نضع في الاعتبار قوى مقاومة الموائع، لكن عليك ألا تتجاهل قابلية الطفو وضغط السائل وتوتر السطح واستمرارية تدفق السوائل عند التفكير في الأسئلة الخاصة بالإبحار في الهواء الساكن، وفي الغسيل الذي يجف على الحبال، وعند ملاحظة الفقاعات المزدوجة.

## (١) وزن الهواء!

كم يبلغ وزن المتر المكعب من الهواء عند مستوى البحر بالتقريب؟ اختر أولًا أحد الاختيارات من القائمة أدناه استنادًا إلى الحَدْس، ثم قدِّر الجواب:

(أ) أقل من أوقية.
(ب) نحو أوقية واحدة.
(جـ) نحو خمس أوقيات.
(د) أقرب إلى العشر أوقيات.
(هـ) نحو رطل واحد.
(و) أكثر من رطلين.

## (٢) الهواء الرطب

عند وزن متر مكعب من الهواء الجاف عند مستوى الضغط ودرجة الحرارة العاديين، وبعد ذلك وَزْن متر مكعب من الهواء الرطب عند مستوى الضغط ودرجة الحرارة العاديين، فأيهما تتوقَّع أن يزن أكثر؟

نقطة غليان الماء الطبيعية، البالغة ١٠٠ درجة مئوية، ليس لها أي مدلول عميق للماء في حد ذاتها؛ ذلك أنها تتحدَّد في الضغط الجوي العادي حين يساوي الضغط الجوي الواحد ١٫٠١٣ × ١٠^٥ باسكال. في دنفر بولاية كولورادو يغلي الماء على درجة حرارة ٩٥ مئوية تقريبًا بسبب الضغط الجوي المنخفض هناك. أما ما له أهمية مطلَقة فهو ما يسمَّى النقطة الحرجة، التي تبلغ في حالة الماء ٦٤٧٫٤ درجة كلفنية و٢٢١٫٢ × ١٠^٥ باسكال (حوالي ٢١٨ ضغطًا جويًّا). من الممكن تسييل الغاز عن طريق الضغط فقط عندما تكون درجة حرارته أدنى من درجة الحرارة الحرجة. وعادةً ما تعمل غلايات بخار الماء ذات الضغط العالي الموجودة في محطات توليد الكهرباء على ضغوط ودرجات حرارة أعلى بدرجة كبيرة من هذه النقطة الحرجة.

## (٣) رطل من الريش

أيهما أثقل وزنًا في الحقيقة، رطل من الريش أم رطل من الحديد؟ ليس مسموحًا بالجواب «لهما الوزن عينه»!

## (٤) الإبحار في الهواء الساكن

هَبْ أنك على مركب شراعي في نهر، والهواء من حولك ساكن تمامًا في كل مكان. النهر يتدفَّق بسرعة أربع عُقَد، لكنك ترغب في الوصول إلى حوض السفن أدنى مجرى النهر في أقل وقت ممكن. هل ينبغي لك أن ترفع الشراع أم أن تخفضه؟ وهل سيكون هناك أي فارق؟

## (٥) الحلم المستحيل

هل يمكن دفع مركب شراعي إلى الأمام بواسطة مروحة مثبَّتة إلى سطحه تدفع الهواء نحو شراع مرفوع بزاوية عمودية على الخط المركزي للمركب؟




## (٦) قوة رفع منطاد من الهليوم

الوزن الجزيئي لغاز الهليوم مقداره ٤,٠، بينما الوزن الجزيئي لغاز الهيدروجين هو ٢,٠، وبناءً عليه، فإن المنطاد المملوء بالهليوم الذي له نفس حجم وضغط المنطاد المملوء بالهيدروجين يكون له نصف قدرة منطاد الهيدروجين على الرفع. أهذا صحيح؟

## (٧) غواص ديكارتي معكوس

في تجربة الغواص الديكارتي التقليدية، تضع قطَّارةَ دواء أو أنبوبَ اختبار مقلوبًا به هواء محبوس ليلعب دور الغواص داخل زجاجة بلاستيكية من الماء، ثم تضغط الزجاجة من المنتصف من جانبين متقابلين كي تجعل الغواص يغطس إلى القاع. خُذْ زجاجة الماء نفسها وضع المزيد من الماء داخل الغواص بحيث يستقر بالكاد على القاع. يمكن الآن جعل الغواص يصعد إلى القمة. كيف يكون هذا ممكنًا؟

## (٨) فلِّينة في دَلْو ساقطة

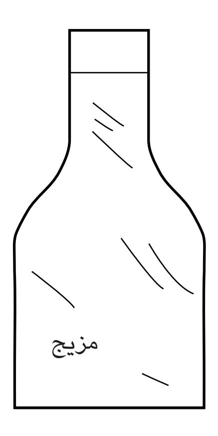
تُثَبَّت دَلْو من الماء تحتوي على فلينة من الأسفل بواسطة آلة ما، ثم تُسقَط الدلو من أعلى مبنًى. تتحرَّر الفلِّينة في اللحظة التي تُسقَط فيها الدلو. أين تكون الفلِّينة في اللحظة السابقة تمامًا على ارتطام الدلو بالأرض؟

يقول البعض إن العالم سينتهي بالاحتراق.
ويقول البعض إنه سينتهي بالتجمد.
ومن واقع ما تذوقته من الرغبة،
فإنني أتفق مع من يرون أنه سينتهي بالاحتراق.

روبرت فروست

## (٩) سائلان يستحيل امتزاجهما

يُوضع سائلان يستحيل امتزاجهما لهما كثافتان مختلفتان (كالزيت والماء) في الزجاجة المبيَّنة بالشكل، ثم تُهَزُّ الزجاجة بعنف. في البداية يكون الخليط الناتج موزَّعًا بانتظام، لكن في النهاية، ينفصل السائلان بحيث يستقر السائل ذو الكثافة الأعلى في القاع. ما حالُ الضغطِ النهائي الواقع على قاع الزجاجة مقارنةً بالضغط الابتدائي حين كان السائلان مختلطين؟




قدَّم لابلاس لنابليون نسخة من كتابه «الميكانيكا السماوية» الواقع في خمسة مجلدات. وحين قال نابليون: «لقد ألَّفتَ هذا الكتاب الضخم دون أن تذكر لمرة واحدة صانع الكون.» ردَّ عليه لابلاس: «مولاي، لم تكن بي حاجة لهذه «الفرضية».»

فنسنت كرونين

## (١٠) ميزان كثافة السوائل

يتكوَّن ميزان كثافة السوائل من أنبوب زجاجي به انتفاخ عند الجزء المغمور في السائل، والوحدة كلها تنتصب رأسيًّا في وعاء من السائل. في الطرف السفلي المنتفخ، يمكن إضافة سائل أو كرات من الصُّلب إلى أن يتدلَّى الأنبوب على العمق المنشود في السائل المحيط.

بفرض أن هذا الجهاز موضوع على منصَّة تتذبذب لأعلى وأسفل، في حركة توافقية بسيطة، فما الذي تتوقَّعه بشأن سلوك ميزان كثافة السوائل؟

## (١١) طفل داخل سيارة يمسك بالونًا

داخل سيارة متحركة، يُمسك طفلٌ بالونًا من الهليوم بواسطة خيط. كل النوافذ مغلقة. ما الذي سيحدث للبالون عند انعطاف السيارة إلى اليمين؟

> معدن الجاليوم ينصهر لو وضعته في يدك! فهو أحد العناصر القليلة التي تذوب في درجة حرارة الغرفة. ونقطة انصهاره الطبيعية هي ٢٩,٨ درجة مئوية.

## (١٢) مخزون الماء خلف السد

تتحدَّد المتانة المطلوبة للسد بواسطة الماء الموجود خلفه. هل نحتاج إلى أن نضع في الاعتبار ماء النهر الذي يغذِّي السد عند حساب المتانة المطلوبة؟

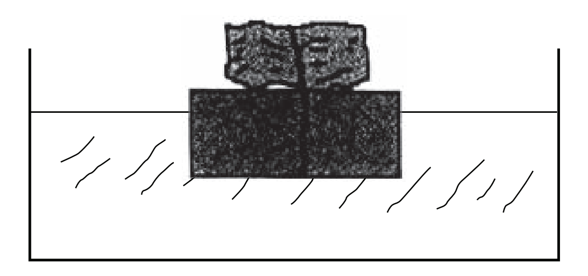
## (١٣) إصبع في الماء

تُوضع دَلْو من الماء على إحدى كفَّتَي ميزان، ويُوضع ثقل مكافئ على الكفَّة الأخرى. هل سيختل التوازن لو أنك غمست إصبعك في الماء دون أن تلمس الدلو؟

## (١٤) الصخرة المحمولة

تُربَط صخرة إلى قطعة من خشب الطفو الخفيف، وتطفو هذه المنظومة على ماء موضوع في وعاء. حين تكون الصخرة بالأعلى، يكون نصف قطعة الخشب بالضبط غاطسًا تحت

الماء. وحين تُقلَب كتلة الخشب بحيث تكون الصخرة مغمورة في الماء، يكون أقل من نصف قطعة الخشب مغمورًا. هل سيكون هناك أي تغيير في مستوى الماء على جانب الوعاء؟



## (١٥) أرشميدس في مصعد هابط

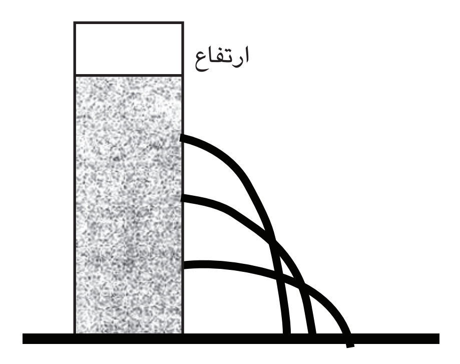
تطفو قطعة خشب في كأس من الماء، والكأس موضوعة في مصعد. حين يبدأ المصعد الهبوط بعجلة قدرها $a < g$، هل ستبرز قطعة الخشب فوق سطح الماء؟

عزَّز إيمانَ نيوتن أنه جزءٌ من «سلسلة ذهبية» من السَّحَرة، أو أشخاص متفرِّدين اختارهم الله في كل عصر كي يتلقَّوا الحكمة الخالصة، من واقع الظروف التي أحاطت بمولده؛ فقد وُلد نيوتن قبل موعد الولادة الطبيعي يوم عيد الميلاد لعام ١٦٤٢م، ولم يكن متوقَّعًا له أن يعيش. في الواقع، تلك الدائرة التي وُلد بها تحديدًا كان بها معدل مرتفع من وفيات المواليد، ولاحقًا آمن نيوتن بأن بقاءه حيًّا (علاوة على إفلاته من بلايا الطاعون إبَّان فترة شبابه) دلالة على تدخُّل إلهي. وقد كان نيوتن يستشيط غضبًا في جدالاته بشأن تفوُّقه على رجال أمثال هوك ولايبنتز، واعتبر أن منظومة العالم الموصوفة في كتابه «المبادئ» هي نبوءته الشخصية. وقد كان متيقِّنًا من أن «الله يتكشَّف لرسول واحد فقط في كل جيل، وهذا جعل الاكتشافات الموازية الأخرى غير مرجَّحة الحدوث.» وفي أسفل دفتر ملاحظاته المتعلِّق بالخيمياء، كتب نيوتن عبارة تُعَد جناسًا تصحيفيًّا لاسمه باللاتينية، Isaacus Nuutonus، تقول: Jeova santus unus. ومعناها «يهوه المقدَّس».

موريس بيرمان

## (١٦) ثلاثة ثقوب في وعاء معدني

في وعاء معدني مملوء بالماء يوجد في أحد الجوانب ثلاثة ثقوب متساوية الحجم على مسافات متساوية. يتم الحفاظ على مستوى الماء على ارتفاع ثابت بحيث يكون الثقب الأوسط في منتصف ارتفاع عمود الماء. يبين الشكل الكيفية التي يمكن أن يتدفَّق بها الماء من الثقوب. ما رأيك في الحل الوارد في الشكل؟




> إن أجمل وأعمق شعور يمكن أن نمرَّ به هو ذلك الإحساس الروحي الغامض. فهذا الإحساس هو ما يغرس بذور العلم الحقيقي. ومن لم يجرِّب هذا الشعور؛ من لم يَعُد غارقًا في إحساس الرهبة، هو في حكم الميت. فذلك الاقتناع الشعوري العميق بوجود قوة مفكِّرة سامية، تتكشَّف لنا من خلال الكون المستعصي على الاستيعاب، يشكِّل فكرتِي عن الإله.
>
> ألبرت أينشتاين

## (١٧) كَشْف سر حبل الغسيل!

لماذا تجفُّ الملابس المغسولة المعلَّقة على حبل من الأعلى إلى الأسفل؟

> لدُنْ إدخال فولفجانج باولي المستشفى، أُخبر بأنه سيوضَع في الغرفة رقم ١٣٧. وهذا الرقم تحديدًا، وهو مقلوب ثابت البناء الدقيق، كان مصدر حيرة لباولي، ولا يزال يتحدى الفيزيائيين إلى اليوم. ووَفْق إحدى الروايات، ما إن علم باولي برقم غرفته حتى قال: «لن أخرج مطلقًا من هنا.» وبالفعل تُوُفي ذلك الفيزيائي بعدها بوقت قصير.
>
> إف ديفيد بيت

## (١٨) ضغط أقل من ضغط الفراغ

ثمة إفادات عن أن ضغط العُصَارة داخل الأشجار يمكن أن يقلَّ وصولًا إلى −٢ ميجا باسكال! يتحدَّد ضغط الفراغ بأنه صفر؛ ومن ثم يُفترض أن ضغط العُصَارة أقلُّ من ضغط الفراغ! من المؤكد أن هذه الإفادات خاطئة. ما رأيك؟

## (١٩) قارب كانو في نهر

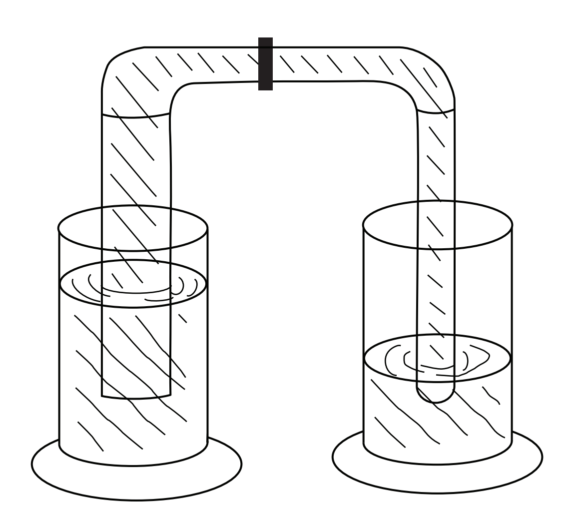
أنت تركب قارب كانو دون مجداف في نهر يتدفَّق صوب فجوة تقع بين جدارين من الصخور يتدفَّق فيها التيار بصورة أسرع. هل ينبغي لك أن تقلق من أن قارب الكانو سيدخل المنطقة الضيقة بالعرض؟

> إذا لم تكن جزءًا من المحلول، فأنت جزء من المادة المترسبة (وهنا تلاعب لفظي على المقولة الشهيرة «إذا لم تكن جزءًا من الحل، فأنت جزء من المشكلة»؛ نظرًا لأن كلمة solution بالإنجليزية تعني «حل» وأيضًا «محلول»).
>
> ستيفن رايت

## (٢٠) معضلة تدفق الماء

هناك أسطوانتان مُدرَّجتان، في كلٍّ منهما أنبوب زجاجي، والأنبوب الموجود داخل الأسطوانة اليسرى يساوي تقريبًا ضعف حجم الأنبوب الموجود في الأسطوانة الأخرى. يُربط خرطوم بين قمَّتَي الأنبوبين، ويتحكَّم مِلزَم في التدفُّق بين الأنبوبين. الماء في هذه

المنظومة يملأ الأنبوبين والخرطوم علاوةً على معظم الأسطوانة المدرجة اليسرى وقَدْرٍ قليل من الأسطوانة اليمنى. وبذا يوجد اختلاف في ارتفاع الماء قبل أن يُفتَح المِلْزم للسماح للماء بالتدفُّق. ما الذي تتوقَّع حدوثه عند فتح المِلْزم؟



## (٢١) الحديد في مقابل البلاستيك

يمكن وضع كرة معدنية صغيرة وكرة بلاستيكية تفوقها حجمًا على كفَّتَي ميزان، بحيث تتساوى الكفَّتان. إذا كان الميزان موضوعًا داخل ناقوس زجاجي وتم إخراج الهواء منه بهدوء (أي إنه لا تنشأ أي تيارات حَمْل)، فما الذي تتوقَّع حدوثه؟

**مبدأ التجسيم**

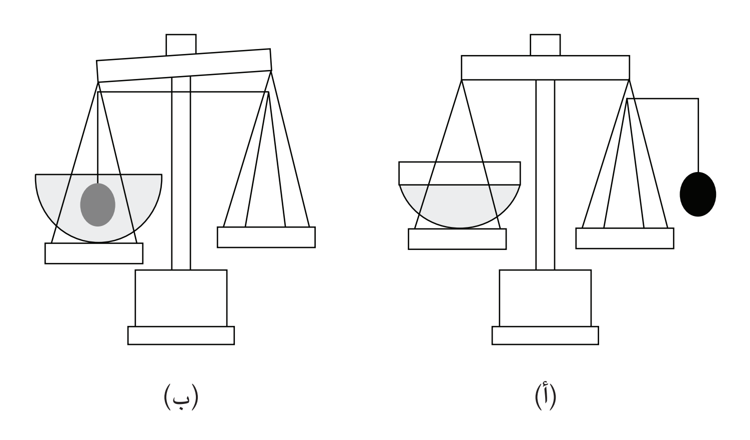
خلاصة: سوف نستكشف ديناميكيات عملية وقوع شريحة الخبز من على الطاولة إلى الأرض. الرأي الشائع يقضي بأن الحالة النهائية للشريحة هي استقرارها على الوجه المدهون بالزُّبد، وهو ما يعد من الظاهر دليلًا على صحة قانون ميرفي (الذي يقول: «إذا كان بالإمكان أن تسوء الأمور، فستسوء»). على النقيض من ذلك تذهب النظرة التقليدية إلى أن هذه الظاهرة عشوائية تمامًا؛

ومن ثم كلتا النتيجتين محتملتان بنسبة حدوث قدرها ٥٠ بالمائة. وسنبيِّن أن شريحة الخبز لها مَيْل فطري بالفعل للوقوع على الجانب المدهون بالزُّبد في نطاق عريض من الظروف. علاوةً على ذلك، سنبيِّن أن هذه النتيجة يمكن عَزْوُها في النهاية إلى قِيَم الثوابت الأساسية. وبناءً عليه، يبدو أن هذا التجسيد لقانون ميرفي ملمحٌ لا مفرَّ منه من ملامح كوننا.

خلاصة الورقة البحثية: روبرت إيه جيه ماثيوز، «إسقاط شريحة الخبز، قانون ميرفي والثوابت الأساسية»، يوروبيان جورنال أوف فيزيكس، ١٦ (١٩٩٥م)، ١٧٢–١٧٦.

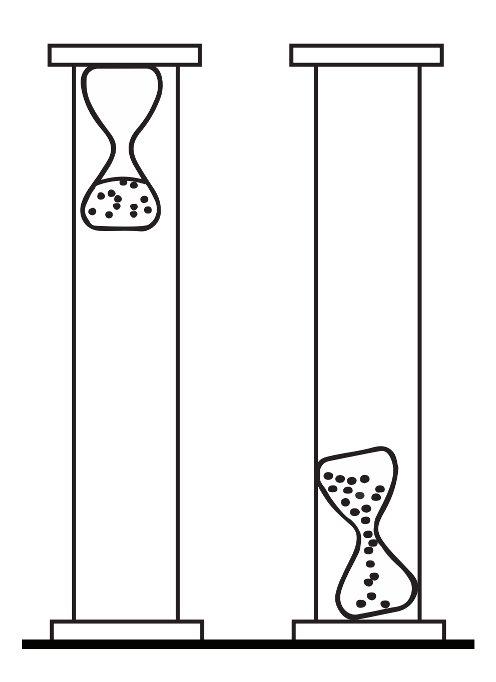
## (٢٢) حديد في الماء

تحمل إحدى كفَّتَي ميزان وعاءً به ماء، بينما يوجد على الكفة الأخرى حاملٌ تتدلَّى منه كرة حديدية بواسطة خيط (انظر الشكل). الكفَّتان متعادلتان. بعد ذلك يُدار الحامل بحيث تُغمَر الكرة الحديدية المعلَّقة في الماء بالكامل. من الواضح أن كفَّتَي الميزان ستختلَّان؛ لأن الكفة التي بها الحامل ستصير أخفَّ وزنًا. ما الثقل الإضافي الذي يجب وضعه على هذه الكفَّة كي نستعيد التوازن؟



## (٢٣) مفارقة الساعة الرملية

تطفو ساعة رملية أعلى أسطوانة مغلقة مملوءة بالكامل بسائل شفاف. القُطْر الداخلي للأسطوانة كبير بما يكفي تمامًا للسماح للساعة الرملية بالتحرُّك دون إعاقة أعلى وأسفل الأسطوانة. عند قلب الأسطوانة، تظل الساعة الرملية في القاع إلى أن يسقط نصف الرمل الموجود بها في الجزء السفلي. عندئذٍ ستبدأ الساعة الرملية في الارتفاع ببطء لأعلى. ما المفارقة المنطقية هنا؟ وما العمليات الفيزيائية التي تفسِّر الأمر؟



## (٢٤) بالون داخل دورق

داخل دورق كبير ذي عنق طويل رفيع سعته ٥٠٠ ملِّيلتر يوجد بالون منفوخ. فم البالون ممطوط كي يغطِّي فم الدورق، والجزء الداخلي له معرَّض للهواء. هل يمكن عمل هذا باستخدام دورق وبالون لهما الحجم عينه؟

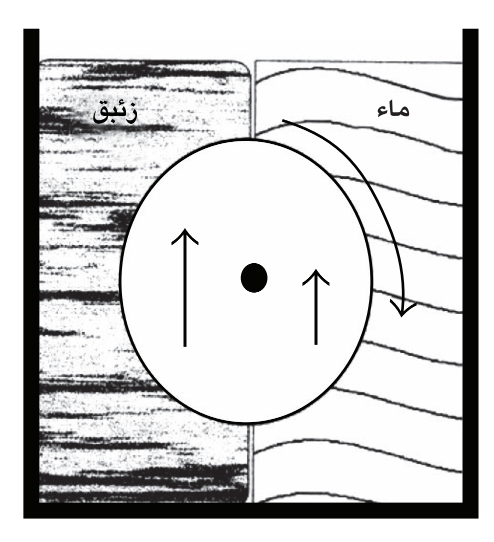
> لستُ على ثقة في أن عالِم الرياضيات يتفهَّم هذا العالَم أفضل مما يتفهَّمه الشاعر أو المتصوِّف. كل ما في الأمر أنه — ربما — أفضل في إجراء الحسابات.
>
> سير آرثر إدنجتون

## (٢٥) استجابة الغواص الديكارتي

يمكن جَعْل غوَّاصٍ ديكارتي ذي قابلية صغيرة للطفو يتصرَّف بطرق مثيرة للاهتمام. فيمكن لضربة قوية موجَّهة بمطرقة من المطاط إلى سطح الطاولة المتاخم للزجاجة أن تتسبَّب في جعل الغواص يهبط لوقت قصير إلى القاع. ما العمليات الفيزيائية المسبِّبة لذلك؟

## (٢٦) حركة أبدية

الجهاز المبيَّن هنا عبارة عن حُجَيرة مملوءة بإحكام بالزئبق في نصفها الأيسر وبالماء في نصفها الأيمن. تُركَّب أسطوانة في المركز بحيث تدور في حرية في مكانها على امتداد محورها. أحد جانبَي الأسطوانة — جانب الزئبق — يستشعر قوة طَفْو أكبر من الجانب الآخر، جانب الماء. يتسبَّب الفارق في العزم في جعل الأسطوانة تدور في اتجاه عقارب الساعة؛ ومن ثم يمكن للمرء استخدام هذا الجهاز لتشغيل مولِّد للكهرباء. ما رأيك في هذا؟

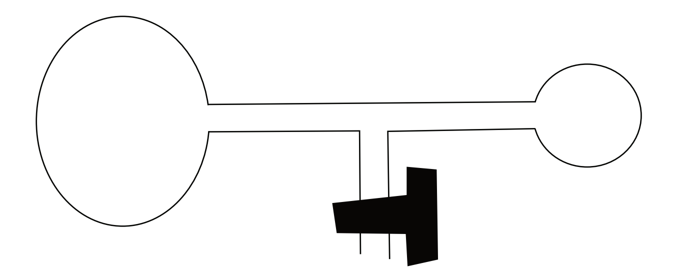


منذ تسعين عامًا وضع الطبيب الأمريكي دنكان ماكدوجال مريضًا يُحتضَر من داء السل، إضافة إلى فراشه وكل ما يتصل به، على ميزان ضخم ذي عاتق، وانتظر بفضول علمي وفاة المريض. بعد عدة ساعات تُوفي المريض و«انخفض مؤشر الميزان مُصْدِرًا تكَّة مسموعة إلى الدرجة الأدنى، وظلَّ على هذا الوضع دون أن يرتدَّ إلى الأعلى ثانيةً. وقد تم التحقُّق من أن مقدار النقصان يبلغ ثلاثة أرباع الأوقية؛ أي ما يساوي وزن شريحة خبز.»

لين فيشر

## (٢٧) الفقَّاعة المزدوجة

تُنفَخ فقاعتا صابون (أو بالونان متماثلان) إلى قُطْرين غير متساويين، وتوضعان على الطرفين المتقابلين لأنبوب على شكل حرف T. يُغلَق مدخل الهواء بعد ذلك، تاركًا الفقَّاعتين متصلتين. ما الذي تتوقَّع حدوثه للهواء الموجود داخل الفقَّاعتين؟



## (٢٨) الماصَّة

عندما تشرب شيئًا بواسطة ماصَّة، يُدفَع السائل للأعلى بواسطة ضغط الهواء المحيط. الآن ضع ماصَّة في وضع عمودي داخل السائل، ثم ضع إبهامك على فتحتها كي تغلقها مؤقَّتًا، ثم ارفع الماصة من السائل وأنت لا تزال تحملها في الوضع الرأسي. يا لَلعَجبِ! يظل السائل داخل الماصة. إذا أحدثتَ ثقبًا صغيرًا بواسطة مقصٍّ أو سكين حادة في الجزء الذي يحتفظ بالسائل، فما الذي تتوقَّع حدوثه؟

> كلما كان حجم المسطَّح المائي أكبر، كان التردُّد الطبيعي لموجاته أكبر. في خليج المكسيك عادةً ما تكون الفترة الفاصلة بين الموجات نحو خمس ثوانٍ، أو حوالي ١٢ موجة في الدقيقة. وعلى ساحل المحيط الأطلسي يصل التردُّد الطبيعي للموجات إلى نحو ٨ موجات في الدقيقة، وفي المحيط الهادئ يكون حوالي ٧ موجات. لا يزيد ارتفاع الموجة عن ١/٧ طولها. وإذا صارت الموجة شديدة الانحدار فستنكسر. وكقاعدة عامة، لا يتجاوز ارتفاع الموجة نصف سرعة الرياح. فالرياح البالغة سرعتها ١٠٠ ميل في الساعة ستثير موجات ارتفاعها الأقصى ٥٠ قدمًا.
>
> جاري لوكهارت

## (٢٩) المنطاد

التفسير الذي يورده معظم الناس للكيفية التي تعمل بها مناطيد الهواء الساخن هو أن «الهواء الساخن يرتفع لأعلى». ما رأيك؟

> أحب النسبية ونظريات الكم؛ لأنني لا أفهمهما، ولأنهما تجعلانني أشعر كما لو أن المكان يتعرَّج كبجعة تعجز عن الاستقرار في موضعها وترفض أن تجلس ساكنة كي يتم قياسها، وكما لو أن الذرَّات كيانات مندفعة تغيِّر رأيها على الدوام.
>
> دي إتش لورانس

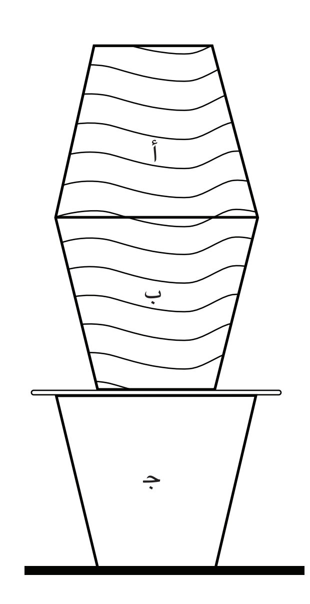
## (٣٠) تحسين القنوات المائية الرومانية

بنى الرومان قنوات مائية مكشوفة ذات مقاطع مستعرَضة مستطيلة تقريبًا من أجل نقل الماء نحو سفوح التلال عبر الريف من المنبع إلى الناس. كانت هناك هياكل طويلة مكلِّفة تدعم هذه القنوات عبر الوديان. لو كان الرومان يتفهَّمون الكيفية التي تتدفَّق بها الموائع بصورة أفضل، كان يمكنهم التخلُّص من كل هذه الهياكل الداعمة الطويلة ويبنون أنابيب مغلقة على الأرض فوق التلال، بحيث تنزل إلى الوديان ثم تصعد مجدَّدًا فوق التلال. وما دام مصدر الماء يزيد ارتفاعه عن أعلى ارتفاع للتلال على امتداد الرحلة، فسيتدفق الماء على امتداد الطريق نحو وجهته.

بفرض أن التلال الموجودة على امتداد الطريق هي في الواقع أعلى ارتفاعًا من مصدر الماء، هل ستعمل منظومة أنابيب الماء المغلقة؟

## (٣١) تحدي الأكواب

توضع ثلاثة أكواب متماثلة كما هو مبيَّن بالشكل. الكوبان (أ) و(ب) يُملآن بالماء بينما هما مغموران تحته، ثم يوضعان كما بالشكل قبل إخراجهما من الماء. الكوب (ب) مستند على الكوب (ج) بواسطة عدد من أدوات التقليب المجوَّفة. ثمة مجموعة أخرى من أدوات التقليب متاحة على الطاولة. التحدي هنا هو نقل الماء (أو على الأقل مُعظم الماء) من الكوب (أ) إلى الكوب (ج). الشروط: ممنوعٌ في أي وقت على المشارك أن يلمس بيديه الأكواب أو أدوات التقليب الداعمة للكوب (ب) أو يحركها. أدوات التقليب الإضافية يمكن تحريكها، لكن لا يمكنها لمس الأكواب أو الأدوات الداعمة.



علامة السالب مسألة أذواق.

مجهول

## (٣٢) ضغط الإطار

الهواء المضغوط الموجود داخل إطار السيارة يدعم وزن السيارة؛ صحيح؟ للتحقُّق من هذه الفكرة يمكنك أولًا أن تقيس ضغط الإطار عندما يكون الإطار داعمًا لحصته من وزن السيارة. بعد ذلك يمكنك رفع السيارة عن الأرض برافعة تغيير الإطارات، بحيث إن الإطار لم يَعُد يمسُّ الأرض. حين تقيس ضغط الإطار في هذا الوضع، هل سيكون هناك أي اختلاف بين القراءتين؟

الساعات تسير «في اتجاه عقارب الساعة»؛ لأنها تحاكي الأقراص الشمسية. في نصف الكرة الأرضية الشمالي تدور الظلال في الاتجاه الذي نسميه الآن «اتجاه عقارب الساعة».

## (٣٣) السيفون*

استُخدم السيفون منذ أزمنة تاريخية بعيدة من أجل نقل السوائل لأعلى فوق حافَة وعاء، ثم إلى أسفل نحو وعاء آخر في مستوًى أكثر انخفاضًا. ورغم تاريخ هذه الأداة الطويل، يرى الكثيرون أن طريقة عملها يكتنفها الغموض، وبعض الناس يظنون أنه داخل السيفون، يتحرك السائل بفعل ضغط الهواء. ومع ذلك، يمكن أن يعمل السيفون في الفراغ! كيف يعمل السيفون حقًّا؟ ولماذا لا يوجد سيفون ذاتي البدء؟

## (٣٤) رشاش الماء المعكوس*

حين يعمل رشاش الماء الشائع الذي يروي العشب، بحيث يتدفَّق الماء من فوَّهاته، يكون اتجاه الدوران معاكسًا لحركة الماء الخارج منه. في الوضع العكسي، يكون الرشاش

مغمورًا في حوض من الماء، ويُدفَع الماء داخل الفوَّهات. ما الذي تتوقَّع حدوثه بالنسبة إلى اتجاه حركة الرشاش في هذه الحالة؟

> لا أتظاهر بأنني أفهم الكون؛ فهو أكبر مني بمراحل.
>
> توماس كارلايل

## (٣٥) قُطَيْرات الماء المندفعة*

إذا دفعتَ كوبًا من الستيروفوم مملوءًا بالماء عبر سطح خشبي مصقول بسرعة قدرها نحو ١٠ سنتيمترات/ثانية، يمكنك أن ترى قطيرات من الماء تندفع لأعلى حتى ارتفاع ٢٠ سنتيمترًا. لماذا يحدث هذا الاندفاع؟

الفصل الرابع

# الطيران

يمكن أن تعمل قوى المقاومة بطرق متنوعة بحيث تعمل على تعقيد حركة الجسم المصمَت في أي مائع أو تعقيد حركة المائع في وعائه. في بعض الحالات ينتج اضطراب، وكثيرًا ما تتطوَّر المحاولات الأولى البسيطة لتفسير السلوك إلى نموذج حوسبي فائق يفوق القدرة على الفهم غالبًا. فَلْتبدأ إذن رحلتك في هذه التحديات مستعينًا بنهج بسيط؛ خشية أن يتصاعد بحثك سريعًا من حيث الصعوبة.

## (١) رحلة ذهاب وإياب رأسية

يُقذَف جسمٌ لأعلى مباشرة. عند تجاهل تأثيرات الهواء، يكون من الممكن حساب الزمن الإجمالي لرحلة الذهاب والإياب صعودًا وهبوطًا لو كانت السرعة الابتدائية للأعلى معروفة. لكن إذا وضعنا التأثيرات الجوية في الاعتبار، فسيكون زمن رحلة الذهاب والإياب أكبر بسبب تحرك الجسم بسرعة أبطأ، أليس كذلك؟ هل الوقت المنقضي في رحلة العودة للأسفل يعادل الوقت المنقضي في رحلة الذَّهاب للأعلى؟

## (٢) طريق طويل إلى الأرض

تسقط كرة عبر الهواء. هل تعتمد قيمة سرعتها النهائية على الارتفاع الذي أُسقِطَت منه؟ هل يمكن لكرة أُسقطت في وقت لاحق من الارتفاع نفسه أن تتجاوز الكرة الأولى؟

الربُّ ماكر، لكنه ليس خبيثًا.

ألبرت أينشتاين

## (٣) مراجعة تحدي جاليليو

يُسقِط شخص في الوقت عينه كرةَ بولينج وكرةً بلاستيكية أخفَّ كثيرًا لهما القُطْر ذاته؛ وذلك من الارتفاع عينه في الهواء. ما الذي تتوقَّع حدوثه؟

حين سأله زميل له عمَّا يعنيه بهذا القول أجاب: «تُخفي الطبيعة سرَّها؛ لأنها جليلة في جوهرها، لا لأنها مخادِعة.»

أبراهام بايز

## (٤) مفارقة الأجسام الساقطة

افترِضْ أن لديك جسمين كرويَّين متماثلين. أحد الجسمين أُلقِي من السكون من الارتفاع H فوق الأرض، أما الجسم الثاني فقد قُذف أفقيًّا من الارتفاع H نفسه في اللحظة ذاتها. هل سيضرب الجسمان الأرض في الوقت عينه؟ وإذا وضعنا انحناء سطح الأرض في الحسبان، فما الذي سيحدث وقتها؟

تحدَّث فولفجانج باولي إلى الفيزيائيين العاملين مساعدين له قائلًا: «لن تكون مهامكم ثقيلة؛ فوظيفتكم هي أنه في كل مرة أتفوَّه فيها بشيء، عليكم أن تعارضوني بأقوى الحجج.»

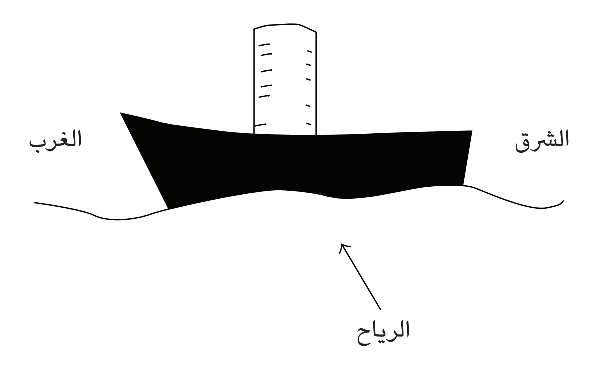
باربرا لوفيت كلاين

## (٥) مركَب الجليد

هل يمكن لمركَب جليد (مركب شراعي يتزلَّج على الجليد له دِعَامات جانبية) أن يتحرَّك بسرعة تفوق سرعة الرياح التي تدفعه؟

## (٦) سفينة فلتنر التوربينية

سفينة فلتنر التوربينية مزوَّدة بأسطوانة رأسية كبيرة على امتداد خطِّها الأوسط يمكن تدويرها في أيٍّ من الاتجاهين بواسطة محرِّك صغير. بفرض أن السفينة متَّجهة ناحية الغرب، وأن الرياح قادمة من الجنوب مباشرةً، ففي أي اتجاه ينبغي أن تدور الأسطوانة كي تتحرَّك السفينة إلى الأمام؟ أم أنه لا أهمية لاتجاه الدوران من الأساس؟




بنى الأخوان رايت بضع طائرات شراعية. وحين كانا في منتصف الثلاثينيات كانا قد قاما بأكثر من ألف رحلة طيران بالطائرات الشراعية. وكان التحدي المثير الذي ألهب حماسهما هو كيفية تحريك طائرة شراعية باستخدام محرِّك الاحتراق الداخلي المخترَع حديثًا. كانت كل محركات السيارات المتاحة أثقل مما ينبغي؛ لذا في عام ١٩٠٣م بنى الأخوان رايت محرِّكًا خفيفًا. كان بهذا المحرِّك أربع أسطوانات أُفقية ذات قُطْر مقداره ٤ بوصات، وشَوْط مقداره ٤ بوصات، بإجمالي قُدرة ١٢ حصانًا. ثم ركَّبا هذا المحرِّك على طائرة شراعية خشبية مكسوَّة بالكتان، بحيث يُدير مروحتين في اتجاهين متعارضين.

فنسنت كرونين

## (٧) قوة الرفع أكبر، أليس كذلك؟

حين لا تكون الطائرة في حالة تسارُع في أي اتجاه وإنما تحلِّق في خط مستقيم على ارتفاع ثابت وبسرعة ثابتة، تُوازِن قوة الرفع الوزنَ كما توازن قوة الدفع المقاومة. حين تدخل الطائرة في حالة من الارتفاع الثابت المستقر، تكون قوة الرفع أكبر من وزن الطائرة، أم أن الأمر خلاف ذلك؟

## (٨) أطواف

عند مشاهدة أطواف وهي تتحرَّك طافية على مياه نهر، نرى أن تلك القريبة من المركز تتحرَّك بسرعة أكبر من تلك القريبة من الضفَّتين. أيضًا، الأطواف المحمَّلة بحمولات ثقيلة تتحرَّك أسرع من تلك المحمَّلة بحمولات خفيفة. لماذا؟

> ليس لديَّ مثقال ذرةٍ إيمانٍ بالملاحة الجوية باستثناء الطيران بالمناطيد، ولا أتوقع أي نتائج طيبة من أيٍّ من المحاولات التي نسمع بها.
>
> لورد كلفن (١٨٩٦م)

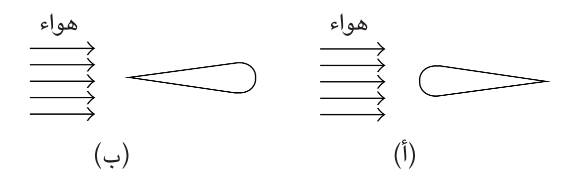
## (٩) متناقِضة دوبوا

بفرض أنك أمسكت عصًا في جدول يتدفَّق بسرعةٍ مقدارها V، وبعد ذلك سحبت العصا نفسها في الاتجاه نفسه بالسرعة V عبر مياه راكدة. ما دامت السرعة النسبية واحدة، فقد يخلص المرء إلى أن مقاومة الماء ستكون واحدة في كلتا الحالتين. فهل هذا صحيح؟

> في العلم، يذهب الفضل إلى الرجل الذي يُقنع العالم، لا إلى الرجل الذي تخطر له الفكرة.
>
> سير فرانسيس داروين

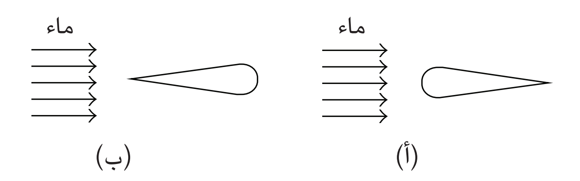
## (١٠) شَكْلا الجناح في تيار الهواء

قارِن جناحًا يواجه تيار الهواء بحافته المستديرة (الحالة أ) بنفس الجناح بعد أن يُدار، بحيث تواجه حافته الشبيهة بحد السكين تيار الهواء (الحالة ب). في أي الموضعَيْن سيُقابَل الجناح بمقاوَمة أقل؟




## (١١) شَكْلا الجناح في تيار الماء

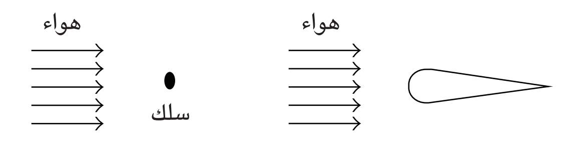
قارن جناحًا يواجه تيار الماء بحافته المستديرة (الحالة أ) بنفس الجناح بعد أن يُدار بحيث تواجه حافته الشبيهة بحد السكين تيار الماء (الحالة ب). في أي الموضعين سيُقابَل الجناح بمقاومة أقل؟




مقاومة الهواء على مساحة عمودية مقدارها ١,٠ قدم مربعة تبلغ نحو ٢٥ رطلًا عند سرعة ١٠٠ ميل/ساعة، وهي تزداد إلى ١٠٠ رطل عند سرعة ٢٠٠ ميل/ساعة.

## (١٢) سلك في مقابل جناح

يُظهِر الشكل جناحًا سُمكه ١٠ بوصات في أكثر أجزائه سُمكًا، وسلكًا مستديرًا قُطره بوصة واحدة. أيُّ الشكلين سيُنتج مقاومة أقل في تدفق الهواء عينه؟




## (١٣) أجنحة ذات ثقوب

في العَقد الأخير أو نحو ذلك، صنعت الشركات المصنِّعة للطائرات أجنحة الطائرات بحيث تتخلَّلها ملايين الثقوب الدقيقة على مسافات منتظمة. هذه الثقوب يبلغ قطرها نحو واحد على الألف من البوصة الواحدة، وهي مصنوعة بواسطة أشعة الليزر. ما سبب الإقدام على هذه العملية المكلِّفة؟

## (١٤) أطباق اللَّعب الطائرة المصْمَتَة

حين يُلقى الطبق الطائر اللُّعبة ويدور حول نفسه تمدُّه الحافة الأمامية بقوة الرفع، لكن يكشف التحليل عن أن الجزء الخلفي يستشعر تيارَ هواءٍ شديدًا إلى الأسفل، وهو ما يقلِّل من قوة الرفع الخاصة به. ومن ثم يكون مركز قوة الرفع متقدِّمًا عن مركز الجاذبية في الرحلة الإجمالية. هل هناك أي مشكلة في هذه الحالة؟

> نحن رقم (١ / ٢) لو$_{١٠}$ ١٠٠.
>
> ملصق على سيارة (ويعني أننا رقم ١؛ إذ إن حل المعادلة (١ / ٢) لو$_{١٠}$ ١٠٠ يساوي ١)

## (١٥) أطباق اللَّعب الطائرة المجَوَّفَة

أطباق اللَّعب الطائرة المجوَّفة عبارة عن حلقة رفيعة يمكن رميها مثل أطباق اللَّعب المصمَتة لمسافات تتجاوز ٣٠٠ متر. لماذا يمكن رمي هذه الأطباق لمسافة تعادل ضعفَي المسافة التي تقطعها أطباق اللَّعب المصمَتة؟

> معظم الناس يزدادون في الوزن في فصل الشتاء. وهذا التأثير منتظم لدرجة أن خطوط الطيران تضعه في الاعتبار عند تقدير الوقود المطلوب لرِحْلاتها.

## (١٦) الطائرات الورقية ١

أحيانًا يكون في لجام بعض الطائرات الورقية زنبرك خفيف أو شريط مطاطي على الخط السفلي. لماذا؟

> البحث العلمي يعني أن ترى ما رآه كل شخص غيرك، لكن أن تفكر فيما لم يفكر به أحد غيرك.
>
> ألبرت زينت جورجي

## (١٧) الطائرات الورقية ٢

يساعد ذيل الطائرة الورقية على توفير ثبات جانبي عن طريق الجذب في اتجاه معاكس لأي حركة جانبية لحظية. يمكن أن يكون الذيل قطعة من القماش، أو قطعة من الورق أو البلاستيك، أو كوبًا أو عدة أكواب من المادة نفسها. كيف يمكن لهذه الأكواب، التي تسمَّى المراسي، أن تحافظ على اتجاهها بينما محورها «الأسطواني» مُوازٍ للريح؟

> شاب صغير، وها قد ابتلعه النسيان بالفعل.
>
> فولفجانج باولي متحدِّثًا عن فيزيائي آخر

## (١٨) مظلات الهبوط

لماذا توجد في مظلات الهبوط فتحة واحدة على الأقل؟

> ثمة عبارة محفورة على جدار أحد الحمامات في جامعة برينستون تقول: ٢ + ٢ = ٥ للقيم الكبيرة للرقم ٢.

## (١٩) سلوك غريب لخليط

يمكن عمل سائل ذي سلوك مُشَوِّق عن طريق إضافة نشا الذرة إلى زيت نباتي بنسبة حجم واحد إلى اثنين أو واحد إلى ثلاثة مع الخلط جيدًا حتى يكون للخليط قوام خفيف، بحيث يمكنك صبُّ الخليط في تيار متصل. بعد ذلك إذا قرَّبت قطعة ستيروفوم مشحونة كهربيًّا من التيار المصبوب فسيتوقف تدفُّقه. ما العملية الفيزيائية المسئولة عن هذا؟

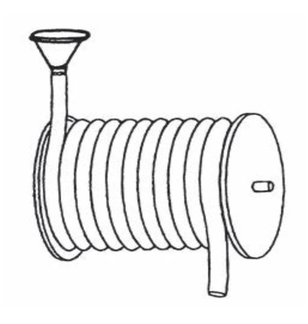
> أتردَّد في استخدام كلمة «الله»، لكن في دراساتي للكون توصَّلت إلى نتيجة مفادها أن هناك غرضًا من نوع ما من ورائه. فالكون نظَّم نفسه بطريقة معيَّنة بحيث صار واعيًا بنفسه. ونحن، ككائنات واعية، جزءٌ من ذلك الغرض.
>
> بول ديفيز

## (٢٠) كَاتشب

الكاتشب الخارج من زجاجة يتدفَّق أولًا ببطء ثم يُسرع في حركته، أحيانًا على نحو كبير. هل لديك أي أفكار عن العملية الفيزيائية المسئولة عن هذا؟

## (٢١) خرطوم حديقة ملفوف

يمكن لخرطوم الحديقة الملفوف أن يتسم بسلوك غريب للغاية؛ فإذا صببْتَ الماء عبر قمع إلى الطرف العلوي للخرطوم الملفوف، فلن يخرج شيء منه من الطرف الآخر. بل الأكثر إثارةً للدهشة أن قدْرًا قليلًا من الماء فقط هو ما سيدخل الخرطوم. لماذا؟



## (٢٢) الماء المتدفِّق من أنبوب

الماء المتدفِّق من أنبوب أو خرطوم ويكون متَّجهًا إلى الأسفل يقلُّ قُطْره ليصير على شكل تيار مستدَق الطرف. لكن السائل غير النيوتوني بجزيئاته طويلة السلاسل قد يتصرَّف على نحو مختلف. ما الذي تتوقَّع حدوثه للسائل غير النيوتوني الخارج من نفس الفتحة؟

> أومن أن أفكارًا مثل اليقين المطلَق والدِّقة المطلَقة والحقيقة النهائية وما إلى ذلك، ما هي إلا تصورات من صنع الخيال لا ينبغي السماح بها في أي فرع من فروع العلم ... وهذا التحرُّر في الفكر هو في نظري أعظم نعمة منحها إيانا العلم الحديث؛ إذ إن الإيمان بحقيقة واحدة وأنك من تمتلك هذه الحقيقة هو أصل كل الشرور في العالم.
>
> ماكس بورن

## (٢٣) كرتان في سائل لزج نيوتوني

تخيَّل أنك ألقيت كرتين متماثلتين في سائل لزِج نيوتوني، واحدة تلو الأخرى، من الارتفاع ذاته وفي الموضع ذاته فوق السطح مباشرة. ما الذي تتوقَّع حدوثه بشأن حركتهما خلال السائل؟

القطب الشمالي السماوي يقع على بُعد أقلَّ من درجة قوسية واحدة من النجم القطبي. وبسبب بدارية محور الأرض سيتحرَّك القطب الشمالي السماوي مقتربًا من النجم القطبي حتى حدود ٠٫٥ درجة قوسية في عام ٢٠١٢م، ثم يبتعد ثانيةً. نحو عام ٥٠٠ قبل الميلاد كان القطب الشمالي السماوي يقع على بُعد ١٢ درجة قوسية من النجم القطبي، ولم يكن قريبًا منه إلا في الخمسمائة عام الأخيرة أو نحو ذلك.

## (٢٤) كرتان في سائل لزج غير نيوتوني

تخيَّل أنك ألقيت كرتين متماثلتين في سائل لزج غير نيوتوني، واحدة تلو الأخرى، من الارتفاع ذاته وفي الموضع ذاته فوق السطح مباشرة. ما الذي تتوقع حدوثه بشأن حركتهما خلال السائل؟

كل الأشياء، قريبة أو بعيدة،

بفعل قوةٍ خالدةٍ

مرتبطةٌ خُفْية بعضها ببعض،

لدرجة أنك لا تستطيع أن تهزَّ زهرةً

دون أن تزعج نجمًا.

فرانسيس طومسون

## (٢٥) كائنات مجهرية في بيئات ذات عدد رينولدز $R < 10^{-4}$

العديد من الكائنات المجهرية (كائنات صغيرة الحجم للغاية يقل طولها عن ١٠ ميكرونات) تعيش في بيئات ذات عدد رينولدز $R < 10^{-4}$! (وعدد رينولدز هو النسبة بين القوة القصورية وقوة اللزوجة). تتحرَّك هذه الكائنات بسرعة كبيرة. من أمثلة هذه الكائنات بكتيريا الإشريكية القولونية الشهيرة، التي هي عبارة عن كائن دقيق أسطواني ذي ذيل سَوْطي يستخدمه في الحركة. لا يمارس أيٌّ من هذه الكائنات الحركة

التبادلية، بمعنى تغيير الجسم إلى شكل معين ثم عكس التتابع ببطء من أجل العودة إلى الشكل الأصلي. فلماذا؟

> الخبير هو شخص ارتكب كل الأخطاء التي يمكن ارتكابها في مجال محدود للغاية.
>
> نيلز بور

## (٢٦) الرفع دون مبدأ برنولي*

أغلب تفسيرات قوة الرفع التي يُحدِثها تدفُّق الهواء فيما وراء أجنحة الطائرة تعتمد على تأثير برنولي. إلا أن بإمكاننا تفسير منشأ قوة الرفع دون استخدام مبدأ برنولي على الإطلاق. وفي الواقع، تبدو حقيقة أن بعض الطائرات يمكنها التحليق وهي مقلوبة متعارِضة مع التفسير القائم على مبدأ برنولي. كيف لنا أن نفسِّر الطيران دون الاستعانة بمبدأ برنولي؟

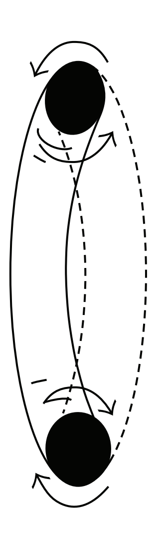
> لِأَنَّ فِي كَثْرَةِ الْحِكْمَةِ كَثْرَةَ الْغَمِّ،
> وَالَّذِي يَزِيدُ عِلْمًا يَزِيدُ حُزْنًا.
>
> سِفْر الجامعة، الإصحاح الأول، الآية ١٨

## (٢٧) زوبعة في فنجان*

عند تقليب الشاي الموجود في فنجان، شريطة أن تكون أوراق الشاي حرة في السائل، ستجد أن معظم أوراق الشاي ينتهي بها المطاف على القاع في منتصف الفنجان. لماذا؟

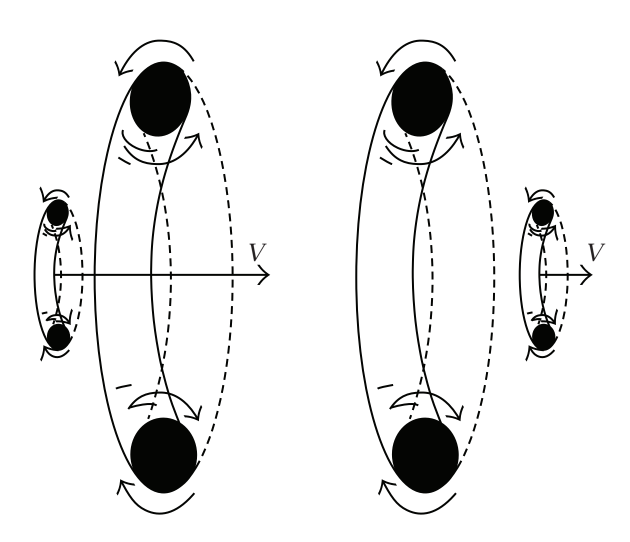
## (٢٨) حلقات الدخان ١*

حلقة الدخان الموجودة في هواء ساكن تتحرك ببطء في اتجاه عمودي على سطح الحلقة (انظر الشكل). في مثل هذه الحلقة تدور جسيمات الدخان حول المحور الحلقي الأجوف لحلقة الدخان في الاتجاهات التي تشير إليها الأسهم. ما الذي يدفع حلقات الدخان للحركة عبر الهواء؟ وفي أي اتجاه ستتحرك الحلقات المبيَّنة في الشكل؟



## (٢٩) حلقات الدخان ٢

يمكن لحلقَتَي دخان أن تطارد إحداهما الأخرى، بحيث تُسرِع الحلقة المتأخِّرة في حركتها وتنكمش بينما تبطئ الحلقة المتقدِّمة في حركتها وتتمدَّد. تلحق الحلقة الصغرى بالحلقة الكبرى وتمر عبرها. بعد ذلك تنعكس الأدوار وتتكرَّر العملية! عرض مذهل بحق، لكن كيف لنا أن نفسِّره؟




لو أننا نعرف ما نفعله، لما أُطلِقَ عليه اسم بحث، أليس كذلك؟

ألبرت أينشتاين

الفصل الخامس

# الصوت

عادةً ما نشير إلى الصوت من حيث الكيفية التي يُدرَك بها من جانب الأُذن البشرية. مصدر الصوت هو جسم يُصدِر ذبذبات، وينقل الهواءُ موجاتِ الصوت إلى آذاننا، التي تعمل بالتعاون مع المخ على توصيل المعلومات لنا. لكن الصوت له أهمية في مناحٍ أخرى من مناحي الحياة. على سبيل المثال، يتطلَّب تحريك مسطرة القياس وجود تفاعلات بين الجزيئات — موجة صوتية — كي يعلم طرف المسطرة الآخر أن عليه التحرك مع حركة المسطرة. التحديات التالية تَسْبُر بالكاد دنيا علم الصوت الواسعة.

## (١) المَحَارة

ضع مَحَارة على أُذنك وستسمع سيمفونية خلَّابة من الأصوات. لماذا توجد هذه الأصوات في المَحَارة؟

## (٢) الاستماع إلى صوتك

كل شخص تقريبًا سيؤكِّد عند سماع صوته المسجَّل أن هذا الصوت المسجَّل يختلف عن صوته المعروف. هل نحن ضحيةُ وَهْم، أم أن هذا الاختلاف حقيقي؟

## (٣) دمدمة في الأذن

في غرفة هادئة، ضَعْ إصبعَيك الإبهام في أُذنيك واستمع بحرص لصوت الدمدمة الخفيض على تردُّد يبلغ نحو ٢٥ هرتز أو أقل قليلًا. ما الذي يُنتج هذا الصوت؟

> كان مصدر الإلهام الرئيسي لكبلر هو مبدأ الإيقاع السماوي الفيثاغوري، الذي تعرَّف عليه في كتابات أفلاطون. كان أفلاطون قد كتب يقول: «مثلما أعيننا مهيَّأة لعلم الفلك، فآذاننا مهيَّأة بالمثل لحركات الإيقاع، وهذان العِلمان شقيقان، وهو ما يذهب إليه الفيثاغوريون ونوافق عليه.» وفي كتابه الأخير «الجمهورية»، رسم أفلاطون بجمال عظيم رحلةً إلى الفضاء؛ حيث تصاحب حركةَ كلِّ كوكب سيرانةٌ فاتنة تغنِّي: «صوتًا واحدًا، بنغمة موسيقية واحدة، ومن الثمانية جميعهم يوجد تناغم ذو إيقاع واحد.»
>
> تيموثي فيريس

## (٤) الصوت في أنبوب

كيف يمكن للصوت المنتقل داخل أنبوب أن ينعكس من طرفه المفتوح، مِنْ لا شيءٍ؟

> ضبط البيانو الكبير البالغ طوله ستَّ أقدام يرتفع في التردد بمقدار ٠٫٣ بالمائة (٠٫٠٥ نصف نغمة) حين تزيد الرطوبة النسبية بحوالي ١٠ بالمائة.

## (٥) ليالي الصيف

لماذا ينتقل الصوت على نحو طيب فوق الماء، خصوصًا في الصيف؟

## (٦) طلقات المدفع

في الثاني من فبراير ١٩٠١م، أُطلقت المدافع في لندن حزنًا على وفاة الملكة فيكتوريا. سُمع دوي المدافع في أرجاء المدينة، لكن ليس في المناطق الريفية المحيطة بها. لكن من

الغريب أن دَوِيَّ المدافع سُمع من جانب القرويين الذين كانوا على مسافة تسعين ميلًا. كيف يمكن أن يتخطَّى الصوت ضواحي لندن ويصل إلى مسافة تسعين ميلًا؟

## (٧) التَّحدث عكس اتجاه الرياح

لماذا من الصعب أن تسمع الصوت في عكس اتجاه الرياح؟ بخلاف التأثير الحاجب الذي تُحدِثه الضوضاء التي تُنتجها الرياح، هل السبب أن الرياح «تعصف» بالصوت إلى الوراء؟

> تحدَّثت مارسيا دافنبورت في مذكِّراتها عن الحفلات الموسيقية التي كانت تقيمها والدتها، السوبرانو العظيمة ألما جلوك: أحيانًا كان يشارك بها إفريم زيمباليست أو جاشا هايفتز لو كان حاضرًا، وفي بعض الأحيان على الجانب الآخر كان البروفيسور أينشتاين يطلب من الرباعي في حياء أن يشارك في العزف في دور عازف الكمان الثاني. كان عازفَ كمانٍ شنيعًا لكنهم كانوا يقفون في حضرته في تبجيل، وكانوا يتشرَّفون بوجوده وسطهم. لكنهم كانوا ينظرون إليه خُفية في أسًى بينما الكمان يُصدِر صريرًا في يديه، وهو يبتسم من تحت هالة شعره الأبيض! كان نادرًا ما يعد النغمات بشكل صحيح، وهو أمر رأوه محيرًا أن يصدر عن أعظم الفيزيائيين الرياضيين.
>
> من كتاب «أقوى من الخيال» لمارسيا دافنبورت

## (٨) صفافير الضباب

لماذا تُصمَّم صفافير الضباب بحيث تُطلِق فقط أصواتًا منخفضة الحدة؟

> الموسيقى تدريب حسابي سرِّي، ومن ينغمس فيها لا يدرك أنه يتعامل في الأرقام.
>
> جي دبليو فون لايبنتز

## (٩) السمع من عَلٍ

كيف يتأتَّى لمتسلِّقي الجبال وراكبي المناطيد أن يسمعوا ويفهموا الأشخاص الموجودين على الأرض، حتى من على ارتفاع نصف الميل، بينما لا يستطيع أولئك الموجودون على الأرض سماعهم أو فهمهم على الإطلاق؟ على سبيل المثال، يمكن سماع شخص يغني بحدةِ صوتٍ مرتفعةٍ وفَهْم ما يقول من جانب أولئك الموجودين على ارتفاع عالٍ، بينما العكس لا يكون ممكنًا!

> إنما مأساة العلم الكبرى هي ذبح الفرضية الجميلة على يد الحقيقة القبيحة.
>
> توماس هنري هكسلي

## (١٠) الصوت التصاعدي للشوكة الرنَّانة

تهتز الشوكة الرنانة في اتجاهين متعارضين عند كِلا طرفيها، وتهتزُّ إلى الأعلى والأسفل عند اليد. إذا أمسكتَ شوكة رنانة رأسيًّا قُرب إحدى أُذنيك وأدَرْتَها ببطء حول المحور الرأسي المار عبر اليد، فستسمع الصوت وهو يزداد علوًّا ونعومة.

إذا لم يكن تداخل موجات الصوت المنتَجة بواسطة الطرفين هو السبب، فما السبب إذن؟ (ملحوظة: الطرفان يبعدان أحدهما عن الآخر نحو سنتيمترين إلى ثلاثة سنتيمترات، وهو ما يعادل طولًا موجيًّا يبلغ قرابة المتر.)

## (١١) انتباه!

هل تستطيع المتحدِّثة الأنثى أن تصل بصوتها إلى كل جنبات القاعة بسهولة أكبر من المتحدِّث الذكر؟

يُعتقد أن النطاق الأعلى للسمع البشري عن طريق الهواء لا يتجاوز نحو ٢٤ ألف هرتز. ومع ذلك، تستطيع الأذن البشرية أن تسمع بشكل طيب حتى نطاق الموجات فوق الصوتية؛ وذلك حين يجري توصيل المثير فوق الصوتي عن طريق العظام.

## (١٢) مطَّاط ورصاص

الصُّلبة والسائلة بشكل أسرع مما ينتقل عبر الغازات. من أمثلة ذلك أن سرعة انتقال الصوت عبر الصُّلب تبلغ نحو ٥ آلاف متر في الثانية، وتبلغ ١٥٠٠ متر في الثانية عبر مياه البحر، بينما تبلغ نحو ٣٤٠ مترًا في الثانية عبر الهواء. لماذا إذن تبلغ سرعة الصوت في مادة الرصاص ١٢٠٠ متر في الثانية فقط، بينما لا تتجاوز — على نحو مثير للدهشة بالمثل — ٦٢ مترًا فقط في المطَّاط؟

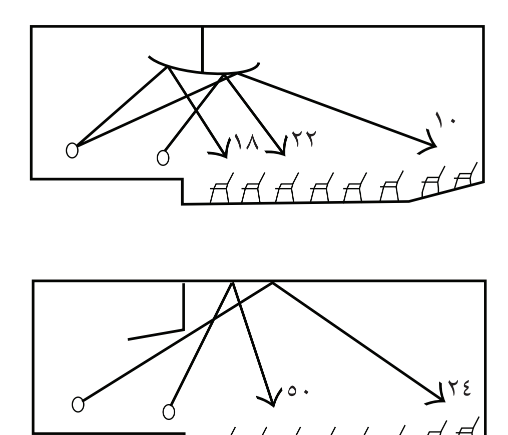
الطاقة الصوتية التي يُطلِقها ٥٠ ألف مشجِّع يصرخون بأعلى أصواتهم على مدار مباراة كرة القدم ستكفي بالكاد لتدفئة فنجان من القهوة.

## (١٣) التحدث بعد استنشاق الهليوم

لماذا تبدو أصوات الناس أكثر حدةً عندما يستنشقون غاز الهليوم؟

## (١٤) قاعتان موسيقيتان

يبيِّن الشكل التالي قاعتَيْن موسيقيَّتَيْن تختلفان من حيث التصميم فقط في شكل السقف أعلى الأوركسترا. تبيِّن الأرقام الفوارق الزمنية بالملِّي ثانية بين زمن وصول الصوت المباشر والصوت المنعكس. أيُّ القاعتين أفضل من الناحية الصوتية، مع تساوي العوامل الأخرى كافةً؟




> كان فيثاغورس يحتفظ بقيثارته كي يعزف عليها الموسيقى قبل الخلود إلى النوم وبعد الاستيقاظ، وذلك كي تتشرَّب رُوحه بطبيعتها السماوية.
>
> سينسوريوس

## (١٥) زئير الفأر

كلنا سمعنا تعبير «زئير الفأر»، لكن هل هناك أي أساس علمي له؟ وعلى الجانب المقابل، هل يمكن لفيل أن يُصدِر صوتًا عاليَ الحدَّة؟

> يقطع الصوت مسافات عظيمة في المناطق القطبية. والحيوانات في هذه المناطق لها آذان صغيرة؛ لأنها قادرة على أن تسمع نُباح كلب على مسافة ١٥ ميلًا. لكن في المناطق الصحراوية الحارة، حيث ينتقل الصوت على نحو رديء، تمتلك الحيوانات آذانًا كبيرة حسَّاسة؛ لتعظيم قدرتها على التقاط الأصوات.
>
> جاري لوكهارت

## (١٦) نغمات صوتية جهيرة

كيف تتمكَّن الهواتف وغيرها من الأجهزة ذات السمَّاعات الصغيرة من إنتاج نغمات صوتية جهيرة لها طول موجي يفوق حجمها عشرات المرات؟

## (١٧) الطبقة الصوتية الافتراضية

بعض أنواع الموسيقى الكورالية يبدو أنه يتضمَّن نغمات غير موجودة في أصوات المغنين من الأساس، ومع ذلك فنحن نسمع هذه النغمات بكل تأكيد. وفي الموسيقى التي يؤدِّيها رُهبان التبت عادةً ما نسمع هذه النغمة الإضافية، التي يُطلَق عليها الطبقة الصوتية الافتراضية. ما تفسير هذا الأمر؟

خلص كلٌّ من إم إي براين وآي كولجر (دراسة علم الصوتيات ٢٩ [١٩٧٣]: ٢٢٨–٢٣٣) إلى أنه عند أداء المهام الفكرية، تُعَدُّ الضوضاء عاملَ مساواة كبيرًا في الأداء. فقد وجدا في تجربتهما أن الأذكياء عانَوْا من تدهور في الأداء في البيئة الصاخبة، بينما تحسَّن أداء الأفراد الأقل ذكاءً.

توماس دي روسينج

## (١٨) الغناء في الحمَّام

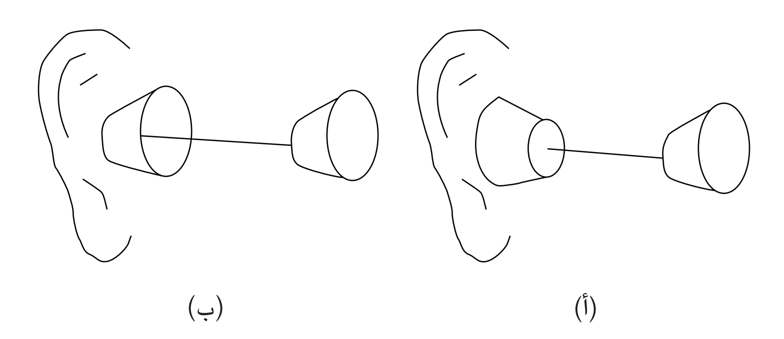
في الحمَّام، حتى صوت المغني الرديء يمكن أحيانًا أن يبدو جميلًا. هل من أفكار بشأن أسباب هذا التغيُّر؟

## (١٩) حَكُّ قطعة من الخشب

خُذْ قطعة طويلة من الخشب وضَعْ إحدى أُذنيك على أحد طرفَيْها. مُدَّ ذراعك وحُكَّ أبعد موضع يمكنك الوصول إليه على قطعة الخشب. سيبدو صوت الحكِّ عاليًا، لكن إذا أبعدت أُذنك وواصلت حكَّ قطعة الخشب كما في السابق، فلن يكون هناك أي صوت مسموع تقريبًا. لماذا؟

## (٢٠) هاتف الخيط والكوبين البسيط

أيُّ اتجاه للكوب البلاستيكي في هذا الهاتف البسيط المكوَّن من خيط وكوبين يُنتِج صوتًا أعلى في الأُذن؟




> نظام تحديد المواقع الأنفي عن طريق الصدى لدى الدلافين له طول موجي يمكِّنه من أن يرى خلال أجساد الحيوانات الأخرى والبشر. فالجلد والعضلات والدهون تكاد تكون شفَّافة أمام الدلافين؛ ومن ثم تستطيع الدلافين أن «ترى» خطًّا رفيعًا يحدِّد شكل الجسد بينما تكون العظام والأسنان والتجويفات المملوءة بالغاز ظاهرة لها بوضوح. وهذه التجويفات تضم الجيوب والرئتين وتجويف الفم والشُّعَب الهوائية والأمعاء وما إلى ذلك. ورغم أن أصداءها تحمل معلومات بشأن الحالة البدنية للدلافين الأخرى، أو البشر أو الحيوانات التي تنظر إليها، فإننا لا نعرف، في الوقت الحالي، إن كانت الدلافين تعرف دلالة ما «تراه» داخل أجسامها، أو أجسامنا. ومع ذلك فهي تتلقَّى بالفعل دلائل مادية عن وجود الأورام السرطانية وغيرها من الأورام والسكتات الدماغية والنوبات القلبية، بل والحالات الانفعالية.
>
> جورج بارنز

## (٢١) طائرة أسرع من الصوت

لماذا تُحدِث الطائرة التي تحلِّق بسرعة تفوق سرعة الصوت ذلك الصوتَ الهادر المشير إلى اختراق حاجز الصوت مرتين؟

## (٢٢) لُعبة سلينكي الزنبركية

ثبِّتْ أحد طرفي لعبة سلينكي الزنبركية إلى جدار (أو نافذة)، بحيث تعمل عمل لوحة ترديد الصوت، وأمسِكْ بالطرف الآخر في يدك على مسافة نحو عشر أقدام من الجدار. يجب أن يكون الزنبرك مرتخيًا، لكن دون أن تتلامس لفَّاته بعضها مع بعض. في هذا الوضع يكون الزنبرك في مستوًى أقل من مستوى الشد الطبيعي. بعد ذلك انقر على الطرف القريب من يدك بقلم رصاص واستمع. ما الذي ستسمعه؟ (تلميح: السرعة التي تنتقل بها الطاقة الصوتية تتناسب طرديًّا مع الجذر التربيعي للتردد.)

## (٢٣) كئوس النبيذ الموسيقية ١

عند حكِّ حافة كأس من النبيذ بإصبع رطب، يمكنك أن تجعل كأس النبيذ تُصدِر نغمة موسيقية. لو أنك طرقت على الكأس بملعقة، ما الذي تتوقَّع حدوثه؟ هل الصوتان بينهما علاقة؟

## (٢٤) كئوس النبيذ الموسيقية ٢

عند حكِّ حافة كأس من النبيذ بإصبع رطب، يمكنك أن تجعل كأس النبيذ تُصدِر نغمة موسيقية. ما الذي يحدث لتردُّد الصوت حين تضيف ماءً إلى كأس النبيذ الموسيقية؟

> العالِم لا يدرس الطبيعة؛ لأن هذه الدراسة مفيدة، بل هو يدرسها لأنه يسعد بدراستها، وهو يسعد بدراستها لأنها جميلة. وإذا لم تكن الطبيعة جميلة، فلن تستحق أن نعرفها، وإذا لم تكن الطبيعة تستحق أن نعرفها، لم تكن الحياة لتستحقَّ أن تُعاش.
>
> هنري بوانكاريه

## (٢٥) أساسيات رن الجرس

لماذا تُضرَب الأجراس ذات النغمات الموسيقية المختلفة على نحو متتابع دائمًا وليس على نحوٍ متزامن؟

> يمكننا وصف العلوم الفيزيائية بأنها تلك العلوم التي تشكِّل فيها الرابطة الواضحة بالخبرات الفعلية قيدًا مزعجًا تحاول هذه العلوم أن تحرِّر نفسها منه أكثر وأكثر.
>
> ماكس دلبروك

## (٢٦) صدى الغابة

بعض المواضع يُنتِج صدًى له تردُّد مختلف بشكل جِذْري عن تردُّد الصوت الأصلي. على سبيل المثال، إذا تحدثتَ قُبالة تجمُّع كبير من أشجار التنوب من على مسافة، فقد يعود صدى صوتك وقد ارتفع بمقدار أوكتاف (جواب موسيقي). ما العمليات الفيزيائية المسبِّبة لهذا الأمر؟

## (٢٧) تعلية النغمة الخفيضة

عند تشغيل الصوت المسجَّل مسبقًا بصوت منخفض بواسطة نظام صوتي مجسم (ستيريو)، لماذا يتعيَّن تعلية النغمة الخفيضة بدرجة كبيرة من أجل الحفاظ على توازن النغمات؟ لماذا لا يكون تضخيم الصوت هذا ضروريًّا حين تُشغَّل الموسيقى نفسها بصوت عالٍ؟

> أكَّد الباحثون في مركز البيولوجيا العصبية للتعلُّم والذاكرة بجامعة كاليفورنيا في إرفين أن الاستماع لمدة عشر دقائق لسوناتا البيانوان في مقام D الكبير لموتسارت رَفَعَ النتائج المتحقِّقة في حاصل الذكاء القياسي لمهام التفكير المكاني. لكن للأسف، تلاشت دفعة حاصل الذكاء بعد نحو ١٠ إلى ١٥ دقيقة.
>
> إف إتش راوشر، وجي إل شو، وكيه إن كيه واي

## (٢٨) جاذب الانتباه الشخصي

هَبْ أنك في متجر مزدحم أو مركز تجاري، وتودُّ أن ترسل رسالة صوتية خاصة لشخص واقف وسط منطقة مزدحمة. هل بالإمكان عمل هذا؟ تذكَّرْ أن موجات الصوت لها طول موجي يفوق المتر؛ ومن ثم سيُطلِق مصدر الصوت الطبيعي موجات صوتية تنتشر زاوِيًّا في القاعة كلها.

> عندما ثار بركان كراكاتوا، وهو بركان موجود في جزيرة صغيرة في إندونيسيا، عام ١٨٨٣م، سُمع دوي ثورانه على مسافة ٣ آلاف ميل.

## (٢٩) السُّلَّم الموسيقي

هَبْ أن موسيقيًّا عزف على نحوٍ متكرِّر نفس تتابع النغمات التي تعلو كل واحدة عن سابقتها بأوكتاف واحد. ما الذي سيسمعه المستمعون؟ بدلًا من أن يسمعوا النمط يتوقَّف ثم يعاود البدء مجددًا، سيسمع العديد من المستمعين النمط وهو يتصاعد إلى ما لا نهاية من حيث طبقة الصوت! وبعزف تتابع النغمات نفسه عكسيًّا على نحوٍ متكرِّر، سيسمع المستمعون أنفسهم النمط وهو ينخفض إلى ما لا نهاية. ما تفسير ذلك؟

> يبدو أن كمال الوسائل والتباس الغايات هو ما يَسِم عصرنا.
>
> ألبرت أينشتاين

## (٣٠) أين تذهب الطاقة؟

عندما تلتقي موجتان صوتيتان في منطقة واحدة وتُلغي إحداهما الأخرى بفعل التداخل الهدَّام، أين تذهب الطاقة؟

## (٣١) جرس يدق داخل ناقوس زجاجي*

في تجربة توضيحية معروفة، يُعلَّق جرس كهربائي داخل ناقوس زجاجي. مع تفريغ الهواء من الناقوس، يصير صوت الجرس مسموعًا بدرجة أقل إلى أن يصير الصوت غير مسموع تمامًا عند ضغط مقداره نحو ١٠٠٠ نيوتن/متر٢. ما سبب زَيْف هذه التجربة؟

## (٣٢) بيانو مضبوط النغمات*

في البيانو المضبوط النغمات، رغم ما يُصدره البيانو من صوت محبَّب، فإن كل نغمة تكون في الواقع غير متناغمة مع الأخريات. في الواقع، إذا كان البيانو مضبوط النغمات بصورة مثالية، فإن أصواته ستُزعج أُذنَيْك وتكون في مواضع تبدو غير متناغمة بالمرة. ما تفسير هذا الأمر؟

## (٣٣) دق أوتاد الخيمة*

يُمكن دقُّ الوتد الحديدي في الأرض بسهولة، وسيكون ثابتًا على نحو محكَم، أما الوتد الخشبي الذي له نفس الشكل فسيكون من الصعب دقُّه في الأرض، وسينتهي به الحال على نحوٍ مقلقل. ما سبب هذا الاختلاف الجذري؟

بعض رُهبان التبت يمكنهم إيهام الناس بأنهم يغنُّون نغمتين صوتيَّتين في الوقت عينه. فبغناء النغمة الصوتية التي يبلغ تردُّدها نحو ٦٣ هرتز، تُضبَط الطبقة الصوتية الأولى على حوالي ٣١٥ هرتز، والثانية على حوالي ٦٣٠ هرتز. وهاتان الطبقتان تتوافقان مع النغمتين التوافقيَّتين الخامسة والعاشرة للتردُّد ٦٣ هرتز. ولأن كل نغمة توافقية في سلسلة النغمات الخاصة بالتردُّد ٦٣ هرتز تكون حاضرة، تُسمع هذه النغمة الصوتية. والتركيز على التردُّدين ٣١٥ و٦٣٠ هرتز يوهِم السامعين بأن نغمة صوتية تردُّدها ٣١٥ هرتز يجري غناؤها في الوقت نفسه أيضًا. والنغمة التوافقية الخامسة لأي نغمة صوتية تعادل مسافة موسيقية مقدارها أوكتافان وثلث كبير، وبهذا يُحدِث مزيجُ النغمتين صوتًا محبَّبًا، وإن كان مزيجًا موسيقيًّا غير معتاد.

ريتشارد إي بيرج وديفيد جي ستورك

## (٣٤) عُلُو الصوت*

تستجيب الأُذن البشرية إلى الشِّدة الصوتية بطريقة غير خطِّية. تقاس الشِّدة الصوتية بواسطة تدريج لوغاريتمي يسمَّى الديسيبل. مستوى الشِّدة الصوتية المرجعية $I_0 = 10^{-12}\,\mathrm{watt}/m^2$، وبهذا يكون مستوى الشدة الصوتية اللوغاريتمي $L_I = 10 \log (I/I_0)$. ومن ثمَّ، لمضاعفة مستوى الشدة الصوتية اللوغاريتمي نجعل $\log (I_2/I_1) = 2$. ومع هذا فإن مضاعفة مستوى شدة الصوت اللوغاريتمي لا يضاعِف في الواقع من الإحساس الذاتي بجهارة الصوت. فما السبب؟

> ثمانون بالمائة من المشكلات لا تستحق القلق بشأنها، و١٩,٥ بالمائة منها غير قابلة للحل، أما الجزء المتبقي البالغ ٠,٥ بالمائة فيحتاج إلى عبقري كي يحله.
>
> هيرمان بوندي

الفصل السادس

# الكهرباء

نحن نعيش في عالم تُهيمن عليه الكهرباء، وتتغلغل الظواهر الكهربائية والمغناطيسية في شتَّى مناحي حياتنا اليومية؛ بدايةً من النقل العصبي للإشارات من المخ وإليه، وصولًا إلى العمليات الحاسوبية. والتحديات المطروحة في هذا الفصل، على غرار تصنيع بطارية من البطاطس، وتحليل كرة مغناطيسية، وتدبُّر الكيفية التي يحلِّق بها فأر في الهواء، كلها جرى اختيارها كي تشحذ إدراكك لأحد تفاعلات الطبيعة الأساسية. وفي أغلب الحالات، عليك أولًا أن تتدبَّر الكيفية التي يعمل بها الجهاز الكهربائي أو المغناطيسي بالطريقة المُثلى.

## (١) دائرة ذات ثلاثة مصابيح

ثلاثة مصابيح ضوئية متماثلة موصَّلة على التوالي كما هو مبيَّن بالشكل. عند توصيل سلك بين النقطتين أ وب، ما الذي يحدث لسطوع المصابيح ١ و٢ و٣؟

> ما قادني بصورة أو بأخرى إلى نظرية النسبية الخاصة كان اقتناعي بأن القوة الحركية الكهربائية المؤثِّرة على جسم ما في حالة حركة داخل مجال مغناطيسي، ما هي إلا مجال كهربائي لا أكثر.
>
> ألبرت أينشتاين

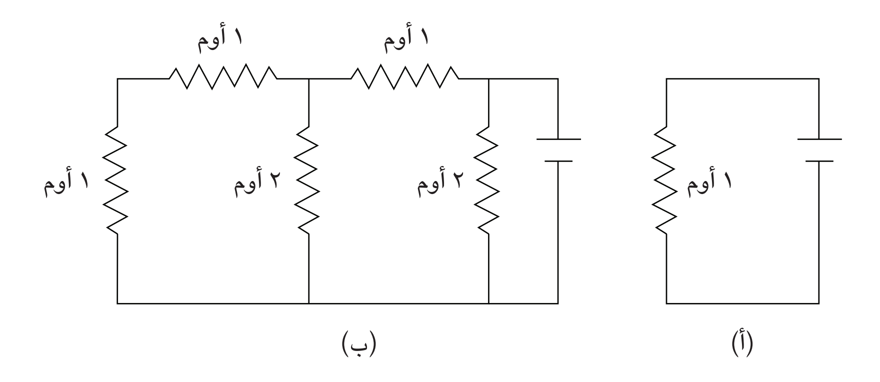
## (٢) بطارية البطاطس

يمكنك صُنْع بطارية من البطاطس عن طريق غرس قطبَيْن من النحاس والزنك (أو النحاس والمغنِسيوم) في حبَّة بطاطس. فرق الجهد بين الطرفين سيكون أكبر من ١ فولت. ما الذي تتوقَّع حدوثه إذا أوصلت مصباحًا يدويًّا صغيرًا بالطرفين؟

> من شأن حكِّ أي جسم ذي حجم عادي أن يتسبَّب عادةً في تخليق مجال كهربائي ذي شدة تصل إلى ١٠ نانوكولوم لكل سنتيمتر مربع، وهو حدٌّ فعلي إذا تم تجاوزه فسيميل الجسم إلى تفريغ شحنته في الهواء.
>
> يوجين هيشت

## (٣) شبكات المقاومات

أيُّ الدائرتين المبيَّنتين بالشكل تتطلَّب تيارًا أكبر من البطارية؟




> نحن نبدأ في حيرة من أمرنا، وننتهي في حيرة من أمرنا على مستوًى أعلى.
>
> آلان تشالمرز (كتاب: «ما هذا الشيء المسمَّى العلم؟»)

## (٤) مكثِّف واقعي

لا يحتفظ المكثِّف المعزول المشحون بشحنته إلى الأبد، فما السبب؟

> لم أرَ الكهرباء من قبلُ قطُّ؛ لذا لا أدفع مقابِلَها. لهذا أكتب على فاتورة الكهرباء: «آسف، لكني لم أرَهَا طيلة هذا الشهر.»
>
> ستيفن رايت

## (٥) متناقِضة المكثِّفَيْن

لدينا مكثِّفان متماثلان؛ كلٌّ مكثِّف منهما يملك مقاومة داخلية لا نهائية. اشحِنِ المكثِّف (أ) حتى القيمة $Q$، واترك المكثِّف (ب) دون شحن. أوصِلْ أحد المكثِّفَيْن بالآخر عن طريق موصِّل مثالي مقاومته صفر، وسوف تتذبذب الشحنات الكهربائية بين المكثِّفين. لنفترض أن مقاوَمة السلك الموصِّل هي $R$، وأنه معزول عزلًا تامًّا. نلاحظ أن السلك يصير ساخنًا. ما هو مصدر الطاقة المسبِّبة للسخونة؟ إذا كانت مقاومة السلك $R$ صفرًا فعليًّا، فهل سيستمر التذبذب إلى الأبد؟

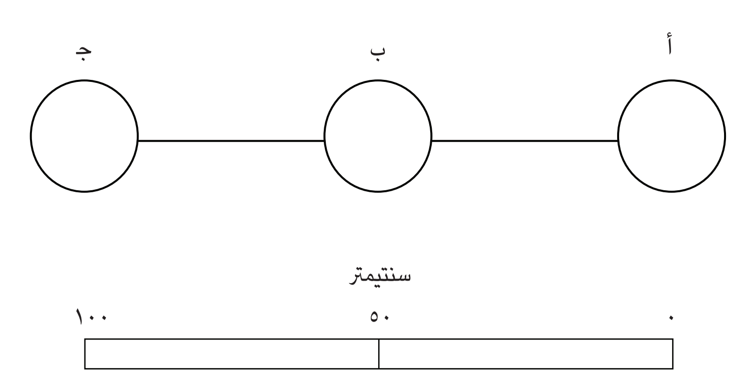
## (٦) حماية من الشحنة

إذا كنت داخل موصِّل مفرغ، فستكون محميًّا كهربائيًّا تمامًا من أيِّ شحنة كهربائية خارجية. لكن ماذا لو أنك عكست الوضع ووضعت واقيًا معدنيًّا حول شحنة كهربائية؟ وَفْق قانون جاوس، سترصد مجالًا كهربيًّا من الشحنة الموجودة داخل الواقي المعدني. هل هناك أي طريقة لمنع المجال الكهربائي الصادر عن هذه الشحنة الكهربائية من الوصول إليك؟

> المحاضرات التي تعلِّم بحق لا تحظى بالشعبية، والمحاضرات التي تحظى بالشعبية لن تعلِّم شيئًا بحقٍّ.
>
> مايكل فاراداي

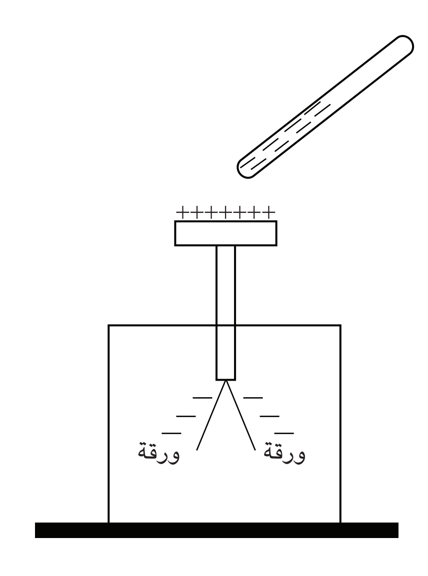
## (٧) ثلاث كرات

تُوضع ثلاث كرات متماثلة في الترتيب المبيَّن بالشكل؛ كل كرة منها يبلغ نصف قُطرها ١٠ سنتيمترات، ومراكز الكرات تبعد مسافة صفر سنتيمتر، و٥٠ سنتيمترًا، و١٠٠ سنتيمتر. الكرة (أ) موصَّلة بالكرة (ب)، والكرة (ب) موصَّلة بالكرة (ج) بواسطة سلك ذي قُطر رفيع للغاية (تجاه أي شحنات كهربائية على السلك الموصل). الشحنة الإجمالية على الكرات الثلاث هي $Q$. ما مقدار الشحنة على الكرة الوسطى؟




## (٨) الحثُّ الكهربائي

ابدأ بمكشاف كهربائي في الوضع المتعادل. هل من الممكن أن يُظهِر المكشاف شحنة موجبة صافية لو كان الجسمُ غير المتعادل الوحيد الذي لدينا هو قضيبٌ سالبُ الشحنة؟



لو اختفت الرياضيات كلها من الوجود، لتأخَّرت مسيرة الفيزياء بمقدار أسبوع واحد بالضبط.

ريتشارد فاينمان

## (٩) تياران متوازيان ١

السلكان المتوازيان اللذان يسري فيهما تياران كهربائيان في الاتجاه ذاته توجد بينهما قوة جاذبة. لكن أي راصد يتحرك بسرعة قدرها بضعة ملِّيمترات فقط في الثانية يمكنه أن يجاري السرعة الانجرافية للإلكترونات في السلكين، وأن يرى المجال المغناطيسي لكلا التيارين الكهربائيين وهو يختفي تمامًا. بالنسبة إلى هذا الراصد المتحرِّك، هل يجذب السلكان أحدهما الآخر؟

س: ما الذي تفعله حين يسخن المقاوم بدرجة كبيرة؟
ج: أغلق مفتاح التشغيل وسيبرد من تلقاء نفسه.

مجهول

## (١٠) تياران متوازيان ٢

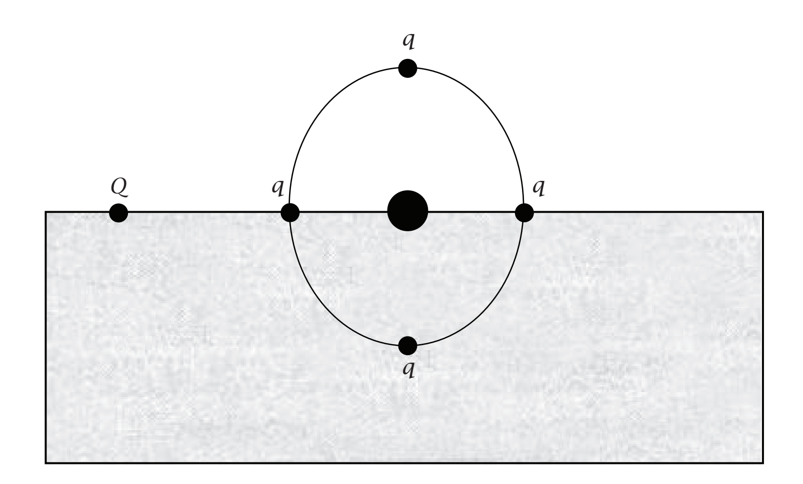
راصد موجود في إطار إحداثي $S$ يرى شحنتين متماثلتين في حالة سكون. هاتان الشحنتان تتنافران وفق ما يمليه قانون كولوم. لكنَّ هاتين الشحنتين تبدوان كتيَّارَيْن متوازيَيْن يجذب أحدهما الآخر عند النظر إليهما في إطارٍ إحداثي $S'$ يتحرك على نحوٍ عمودي على الخط الواصل بين الشحنتين. هل يمكن حل هذا التناقض؟

في نهاية المطاف نرى ما خفي عنا. لكن يبدو أننا نستغرق وقتًا أطول كي نرى ما هو واضح تمامًا.

إدوارد آر مورو

## (١١) عجلة دوارة

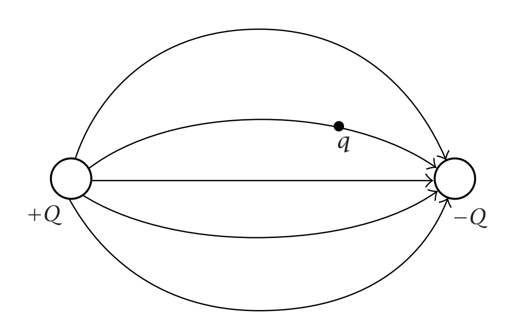
يقع محور عجلة على سطح حوض من الزيت، وتوجد أربع شحنات متساوية $q$ على مسافات متساوية على امتداد المحيط الخارجي. الشحنة الثابتة $Q$ تتنافر مع جميع الشحنات الأربع $q$. ما الذي تتوقع حدوثه للعجلة؟




الجلد البشري الجاف عازل جيد للكهرباء، ذو مقاومة مقدارها ١٠^٦ أوم أو نحو ذلك، لكن الجلد البشري المبلَّل موصِّل جيد للكهرباء. وتبلغ مقاومة الجسم البشري كله نحو ١٠٠٠ أوم.

## (١٢) مسار الشحنة

تُطلَق شحنة اختبار مثالية صغيرة $q$ من السكون في الموضع المبيَّن بين الشحنتين $+Q$ و$-Q$ الثابتتين في موضعيهما. هل ستتبع شحنة الاختبار منحنى خط المجال الكهربائي حتى الشحنة $-Q$؟

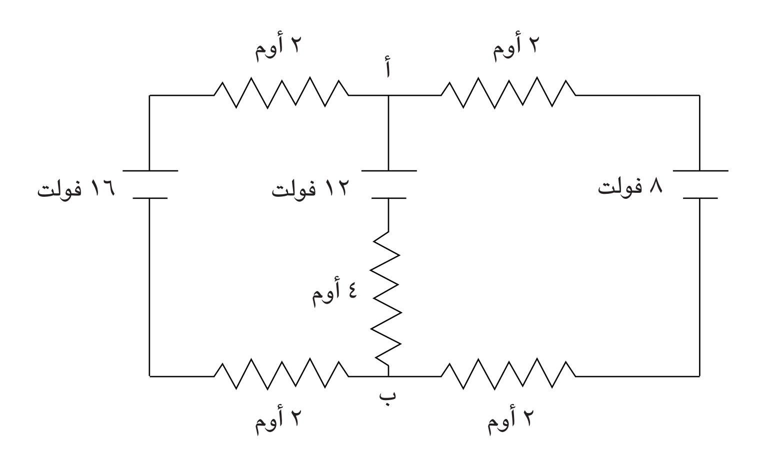



السعة الكهربائية للجسم البشري (المَقِيسة عند الوقوف على عازل ارتفاعه خمسة سنتيمترات) تتراوح من نحو ١٠٠ بيكوفاراد إلى ١١٠ بيكوفاراد (للأشخاص الذين تتراوح أوزانهم من ٦٨ كيلوجرامًا إلى ١٠٥ كيلوجرامات على الترتيب).

يوجين هيشت

## (١٣) قراءة مقياس الجهد الكهربائي

في الدائرة المبيَّنة بالشكل، يتدفَّق التيار البالغة قُوَّته ١ أمبير عبر كل مقاوم قدرته ٤ أوم، بينما لا يمرُّ أي تيار عبر المقاوِم البالغة قُدرته ٤ أوم. ماذا ستكون قراءة مقياس الجهد الكهربائي عند توصيله بين النقطتين (أ) و(ب)؟




العلماء لهم طابع منفِّر، إلا في حالة واحدة؛ وهي أن تدعم نظرياتهم، فحينها يمكنك حتى أن تقترض المال منهم.

مارك توين

## (١٤) لغز انتقال الطاقة

تدبَّر حالة دائرة بسيطة ذات مقاوِم حمل $R$ موصَّل ببطارية ذات مقاومة داخلية $r$. في أشد الحالات تطرفًا، حين تكون $R \ll r$، تعد البطارية بمنزلة مصدر مثالي للتيار. وتكون البطارية مصدرًا مثاليًّا لفرق الجهد عندما تكون $R \gg r$. تحت أي ظرف من الظروف سيتحقق أقصى انتقال للطاقة؟ إذا اقتربت كفاءة نقل الطاقة من ١٠٠ بالمائة بالنسبة إلى مصدر فرق الجهد المثالي، فلماذا لا ينقل مصدر فرق الجهد المثالي الطاقة القصوى؟

سياسي بريطاني بارز: «ما نفْعُ الكهرباء؟»

مايكل فاراداي: «لا أعرف بعد، لكن يومًا ما ستَفرِضون عليها الضرائب!»

## (١٥) المقاومة الخطية

تؤدِّي مضاعفة فرق الجهد على امتداد أي مقاوم قياسي إلى مضاعفة التيار. أهذا صحيح؟

## (١٦) تيارات مشعَّة

يُطلِق مصدرٌ مُشِعٌّ معزول جسيماتِ ألفا في جميع الاتجاهات. وهذه الشحنة المتدفِّقة من المصدر عبارة عن تيار كهربائي. ما المجال المغناطيسي المرتبط بهذا التيار؟

> في أعماق اللاوعي البشري هناك حاجة متغلغلة لأن يكون الكون منطقيًّا مفهومًا. لكن الكون الحقيقي دائمًا ما يكون خارج حدود المنطق بخطوة واحدة.
>
> فرانك هيربرت

## (١٧) أيهما المغناطيس؟

لدينا قضيبان من الفولاذ، والفارق الوحيد بينهما هو أن أحدهما مغناطيس دائم والثاني غير ممغنط. دون استخدام أي معدَّات، كيف لنا أن نعرف أيهما هو المغناطيس؟

> كان ويليام ويويل، مدير كلية الثالوث بكامبريدج وقتها، هو من اقترح تسمية القطبين الكهربائيين الموجب والسالب «الأنود» و«الكاثود» (anode وcathode بالإنجليزية على الترتيب) وذلك في المراسلات المتبادلة بينه وبين مايكل فاراداي. افترض فاراداي وجود خلية تحليل كهربائي عملاقة تفسِّر المجال المغناطيسي للأرض، وفيها يكون القطب الموجب على الجانب الشرقي والقطب السالب على الجانب الغربي. اقترح ويويل تسمية القطب الموجب بالأنود، بمعنى «المصعد» أو «المكان الذي تصعد منه الشمس»؛ أي الشرق، وتسمية القطب السالب بالكاثود، بمعنى «المهبط» أو «المكان الذي تهبط فيه الشمس»؛ أي الغرب.
>
> إتش جورج هامون الثالث

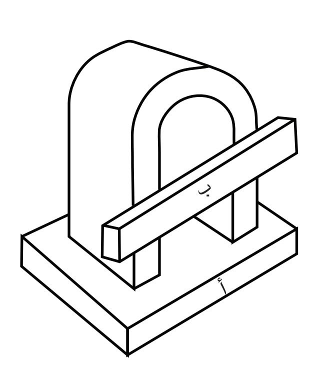
## (١٨) ما سبب استخدام الحافظة المغناطيسية؟

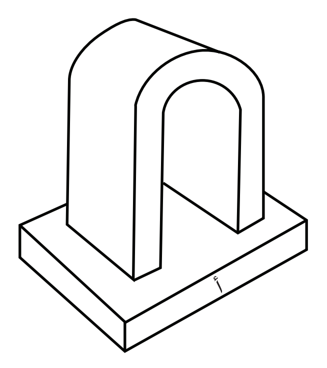
بعض المغناطيسات الدائمة يوجد بها قطعة تسمَّى «الحافظة» تصل بين القطبين. ما أهمية هذه الحافظة المغناطيسية؟

> إن الفيزياء آخذة في الاستعصاء على الفيزيائيين.
>
> ديفيد هيلبرت

## (١٩) المغناطيس

أغلِقْ قطعة مغناطيس على شكل حدوة حصان بقضيب حديدي (أ) على النحو المبيَّن في الشكل. المغناطيس قوي بما يكفي بحيث يثبت القضيب الحديدي في موضعه. بعد ذلك خُذْ قطعة من الحديد المطاوع (ب) وضَعْها على المغناطيس على النحو المبيَّن. على الفور ستسقط القطعة (أ). وعند إبعاد القطعة (ب)، يمسك المغناطيس بالقطعة (أ) في سهولة مرة ثانية. ما العمليات الفيزيائية المسبِّبة لذلك؟

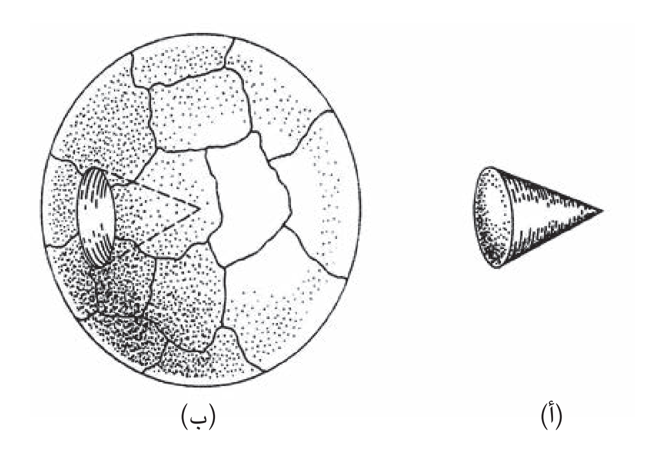


المجال المغناطيسي الموجود حول الصدر، والذي ينتجه التيار الكهربائي الكبير نسبيًّا للقلب، يبلغ نحو ١٠$^{-٦}$ جاوس، والتيارات الأصغر داخل الدماغ تنتج مجالًا مغناطيسيًّا حول الرأس مقداره نحو ٣ × ١٠$^{-٨}$ جاوس. هذه القيم أصغر كثيرًا من المجال المغناطيسي للأرض (٠٫٥ جاوس) أو حتى المجال المرتبط بالتيارات التي تحملها الأسلاك الكهربائية لأي مبنًى (٥ × ١٠$^{-٤}$ جاوس).

## (٢٠) كرة مغناطيسية

للمغناطيس قطبان مغناطيسيان على الأقل. وإذا تمكَّن المرء من بناء قطعة مغناطيس ذات قطب واحد فقط، فسَيُعَدُّ هذا إنجازًا عظيمًا. إليك هذا الاقتراح المتواضع: اقطَعْ كرةً من الفولاذ إلى قطاعات غير منتظمة على النحو المبيَّن في الرسم. مَغْنِطْ كل الأطراف الحادة كقطب جنوبي، وكل الأطراف الأخرى كقطب شمالي. ضَعِ القطع المغنطة معًا ثانية بحيث تكوِّن كرةً. هل سيكون القطب الشمالي للكرة المغنطة إلى الخارج؟ هل اختفى القطب الجنوبي؟



(ب) (أ)

ما اللانهائية إلا محاولة من الزمن لإرضاء غروره.

ليلي توملين

## (٢١) بوصلتان

خُذْ بوصلتين مغناطيسيتين متماثلتين، وضَعْ واحدة على طاولة واتركها حتى تستقر إبرتها في موضعها. أحضِر البوصلة الثانية إلى موضع قريب من الأولى، وهُزَّها حتى تتأرجح إبرتها، ثم ضَعْها على الطاولة قُرب أحد طرفي إبرة البوصلة الأولى. ما الذي تتوقَّع حدوثه لإبرتَي البوصلتين؟

> نقيض أي عبارة صحيحة عبارة خاطئة، لكن نقيض أي حقيقة راسخة قد يكون حقيقة راسخة أخرى.
>
> نيلز بور

## (٢٢) الشغل المغناطيسي

نحن نعرف أن المجالات المغناطيسية لا تبذل أيَّ شغل على الجسيمات المشحونة. ومع هذا، سيكتسب السلك الحامل للتيار والموضوع في مجال مغناطيسي طاقةً حركيةً بينما يتسارع السلك استجابةً للقوة المغناطيسية. كيف يتأتَّى حدوث ذلك؟

> سُئل فاراداي ذات مرة من زميل له: «هل البروفيسور «س» مخطئ على الدوام؟»
>
> فردَّ فاراداي: «إنه ليس ثابتًا على مبدئه لهذه الدرجة.»
>
> دانيال كوسلاند الابن

## (٢٣) واقٍ كهربائي

هل سينجح الواقي الكهربائي الذي يعمل على حماية الجزء الداخلي من حيزٍ ما من مجال كهربائي خارجي؟ هل سينجح أيضًا في حمايته من موجة كهرومغناطيسية عابرة؟

> نادرًا ما تشير البوصلة المغناطيسية جهة الشمال الحقيقي. فبينما تشير إبرة البوصلة في شيكاجو تقريبًا جهة الشمال، تميل البوصلة في لوس أنجلوس بزاوية ١٥ درجة تقريبًا شرقي الشمال، فيما تميل البوصلة في نيويورك ١٥ درجة تقريبًا غربي الشمال.
>
> يوجين هيشت

## (٢٤) تلاشي الموجات في الفضاء الحر

«حين تتلاشى موجات الضوء، أين تذهب الطاقة؟» هذا السؤال يفترض أن الطاقة التي تُحمَل بواسطة الموجتين المتداخلتين هي عينها الطاقة التي تُحمَل بواسطة الموجتين نفسيهما عندما تكونان منفصلتين. وبناءً عليه، هذا الافتراض يقوم على استخدام خاطئ لمبدأ التراكب. لماذا؟

## (٢٥) الملف الطارد ١

الحلقة المعدنية الموصِّلة للكهرباء الموضوعة حول ملف رأسي سوف ترتفع حين يمرُّ تيار كهربائي متردِّد متواصل عبر الملف (انظر الشكل). إذا استُبدل بهذه الحلقة المعدنية حول الملف الطارد دائرة مصمَتة من خيط غير موصِّل للكهرباء، فما الذي تتوقَّع حدوثه عندئذٍ؟ هل ستكون هناك قوة كهرومغناطيسية حول الخيط الدائري غير الموصِّل للكهرباء؟



الكون الحقيقي أكثر إثارةً للاهتمام بكثير من الكون كما يَرِدُ في الخيال العلمي.

لورانس إم كراوس

## (٢٦) الملف الطارد ٢

لماذا تقفز الحلقة المعدنية الموصِّلة للكهرباء الموضوعة حول ملف طارد عند تمرير تيار متردِّد عبر الملف بسرعة؟

الفيزياء ليست دينًا. ولو أنها كانت كذلك، لكانت مهمتنا في جمع المال أسهل كثيرًا.

ليون ليدرمان

## (٢٧) شريط مغناطيسي

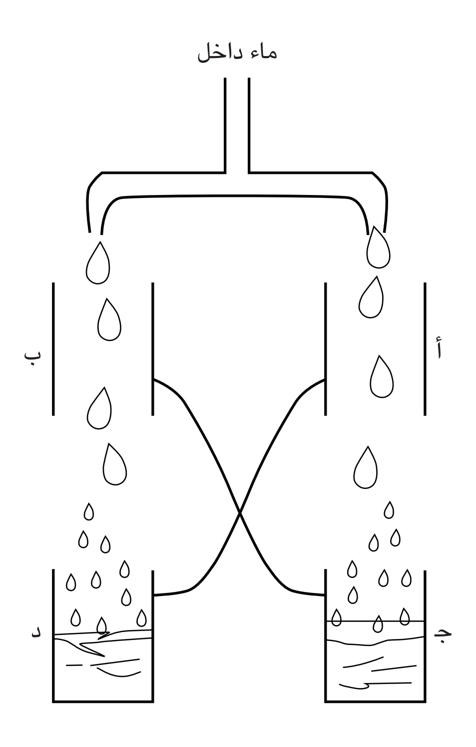
عندما تتلقَّى لفَّة من شريط التسجيل الصوتي المغناطيسي شحنة كهربائية، فما الشكل الذي تتوقَّع أن يتخذه الشريط المغناطيسي؟

أشد المغناطيسات قوة (مغناطيس السمريوم – الكوبالت أو مغناطيس النيوديميوم – الحديد – البورون) تُنتِج مجالات قوتها نحو ٠٫٣ إلى ٠٫٤ تسلا.

## (٢٨) قطَّارة الماء الكلفنية

قطَّارة الماء الكلفنية أداة مدهشة اخترعها اللورد كلفن، وهي تَستخدم الماء في توليد جهد كهربائي يصل إلى ١٥ ألف فولت. الصفيحتان (أ) و(د) متصلتان كهربيًّا، وكذلك الحال بالنسبة إلى الصفيحتين (ب) و(ج). يتساقط الماء عبر الصفيحتين المعدنيَّتين عديمتَي القاع (أ) و(ب)، ويتم تجميعه في الصفيحتين (ج) و(د). وفور البدء تقريبًا تصير الصفائح المتعادلة كهربيًّا مشحونة، بحيث يُصبح زوج من الصفائح موجب الشحنة،

والزوج الآخر سالب الشحنة. ويمكن أن يصل الجهد الكهربائي المتولِّد إلى مستوًى مرتفع، لدرجة أنه لو جرى تقريب مصباح فلوروسنت صغير من إحدى الصفائح فسوف يضيء. كيف تعمل هذه الأداة؟




## (٢٩) القوة الدافعة الكهربائية العكسية*

هل القوة الدافعة الكهربائية العكسية لمحرِّك تعوق تدفُّق الطاقة إلى المحرِّك؟ فسِّر الجواب.

تُوفي جيمس كلارك ماكسويل عام ١٨٧٩م، وهو نفس العام الذي وُلِد فيه ألبرت أينشتاين. وتقول العبارة الافتتاحية لورقة أينشتاين البحثية الأولى عن النسبية: «كهروديناميكا ماكسويل ... عند تطبيقها على الأجسام المتحرِّكة، تؤدِّي إلى حالات انعدام تناظر يبدو أنها ليست جزءًا أصيلًا في الظواهر.»

بي هاليفي

## (٣٠) التناظر المحوري*

من شأن سلك طويل موجب الشحنة موضوع على امتداد أنبوب معدني طويل سالب الشحنة أن يخلق موقفًا من التناظر المحوري. ما الذي سيحدث لجسيم متعادل ساكن في الأساس موجود بين هذين القطبين الكهربائيين؟

تتقدَّم المعرفة بجنازة تلو الأخرى.

بول صامويلسون

## (٣١) حلقة نحاسية*

يجري لفُّ حلقة نحاسية منتظمة الشكل بواسطة مجال مغناطيسي يزيد باطِّراد، بحيث يتغيَّر التدفق المغناطيسي عبر الحلقة بمعدل ثابت. إذا استخدمت مقياسًا للجهد الكهربائي لقياس الجهد عبر الحلقة المعدنية، فما الذي تتوقَّع حدوثه؟

> قرأ فاراداي الأوراق التي أرسلها له ماكسويل بِحَيْرة الشخص العاجز عن التفرقة بين النغمات الصوتية وهو يستمع إلى رُباعيات بيتهوفن؛ إذ كان يفهم أنها جميلة لكن دون أن يتمكَّن من فهم مكمَن جمالها. وقد كتب فاراداي إلى ماكسويل يقول: «كنت مرعوبًا حين رأيت مثل هذه القوة الرياضية وهي تُطوَّع بحيث يمكن تطبيقها على الموضوع، ثم تعجَّبت حين رأيت أن الموضوع تحمَّل هذا الأمر بدرجة جيدة للغاية.»
>
> تيموثي فيريس

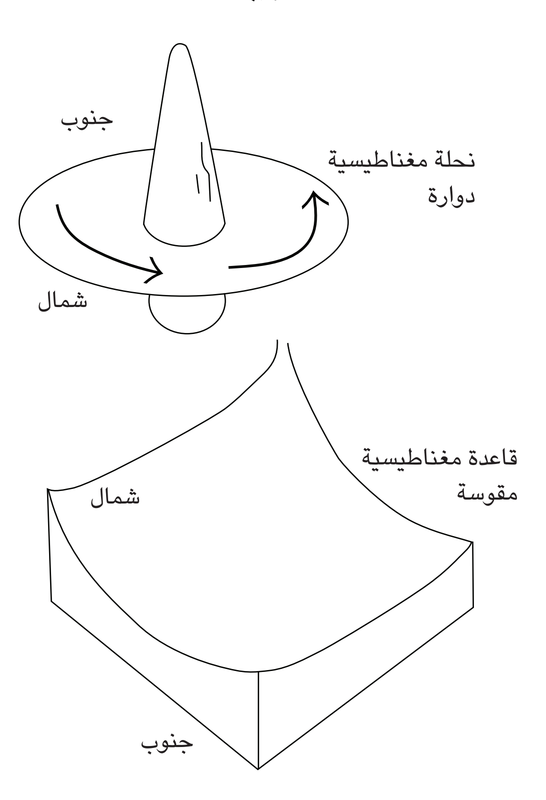
## (٣٢) طاقة المجال الكهرومغناطيسي*

نصف الطاقة في أيٍّ موجة كهرومغناطيسية يوجد في المجال الكهربائي، والنصف الآخر في المجال المغناطيسي. كلا المجالين، الكهربائي والمغناطيسي، يصلان إلى قيمتهما القصوى على نحو متزامن، وإلى قيمتهما الدنيا على نحو متزامن. حين تكون قيمة المجالين صفرًا في الوقت ذاته، أين توجد الطاقة؟

> المفاهيم الفيزيائية هي إبداعات حرَّة من خَلْق العقل البشري، ولا تتحدَّد على نحوٍ متفرِّد من خلال العالم الخارجي، رغم ما قد يبدو عليه الأمر أحيانًا.
>
> ألبرت أينشتاين

## (٣٣) نحلة دوارة طافية في مجال مغناطيسي*

يمكن لنحلة دوارة مصنوعة من مغناطيس دائم أن تحافظ على موضعها وهي طافية في الهواء فوق منصة مغناطيسية مقوَّسة بدرجة بسيطة لعدة دقائق. كيف يحدث هذا؟




يوجد في منزلي مفتاح إضاءة لا يؤدي فتحه أو غلقه إلى شيء. من حين إلى آخر أفتحه وأغلقه فقط كي أتأكد من أنه يعمل أو لا. بالأمس تلقيت اتصالًا هاتفيًّا من امرأة في ألمانيا، قالت لي فيه: «توقفْ عن فِعْل هذا.»

ستيفن رايت

## (٣٤) فئران طافية في مجال مغناطيسي*

مؤخرًا، رُفع فأر بحيث صار يطفو في مجال مغناطيسي. ما العمليات الفيزيائية المسئولة عن هذا الأمر؟

العلم هو محاولة جعْل التنوع الفوضوي لخبراتنا الحسية يتوافق مع منظومة فكرية متسقة منطقيًّا.

ألبرت أينشتاين

الفصل السابع

# حركة الأجسام

في علم الميكانيكا، تُعَدُّ قوانين نيوتن تقريبات ممتازة لسلوك الطبيعة، ما لم نكن بصدد تدبُّر السرعات النسبية. دعنا إذن نكتشف إلى أيِّ مدًى يمكننا تطبيق قوانين نيوتن على الألغاز والمفارقات والمغالطات التي جمعناها في هذا القسم. وكما الحال في أغلب المساعي، من المفترض أولًا البدء بقراءة حريصة متبوعة باختيار حصيف للخصائص الفيزيائية المثالية والتقريبات الوثيقة الصلة بالموضوع. وإذا لم يتكشَّف أمامك الموقف بوضوح، فسيكون من قبيل الحكمة أن تتخلَّص من التمثيلات واحدًا تلو الآخر إلى أن تصل إلى تفسيرٍ مُرْضٍ.

## (١) الفتاة الخارقة

تحاول الفتاة المرسومة في الشكل أن ترفع نفسها والمقعد الذي تجلس عليه مِنْ على الأرض من خلال جذب الحبل إلى الأسفل. من شأن الفتاة والمقعد أن يتحركا للأعلى معًا. ما الذي تتوقَّع حدوثه حين تجذب الحبل؟



> كتب أرشميدس، الذي كان قريبًا لأحد أصدقاء هيرون ملك سرقوسة، إلى هذا الملك قائلًا إن أيَّ قوة كانت يمكنها تحريك أي ثقل كان. كذلك أعلن — متشجِّعًا بقوة تجاربه كما قيل لنا — أنه إذا كان هناك عالَم آخر، وأمكنه الذهاب إليه، فسيستطيع منه تحريك عالمنا. ذُهل هيرون، وترجَّاه أن ينفِّذ مقترَحه، وأن يبيِّن له ثقلًا عظيمًا وقد تحرَّك بفعل قوة طفيفة. وبناءً عليه حدَّد أرشميدس سفينة تجارية ذات ثلاثة صواري تنتمي للأسطول الملكي هدفًا له — وكانت هذه السفينة تحتاج إلى جهد العديد من الرجال كي تُجَرَّ إلى الشاطئ — وبعد أن وضع على متنها العديد من الركاب وشحنتها المعتادة، اتخذ أرشميدس لنفسه موضعًا على مبعدة من السفينة ودون أي جهد كبير، وإنما بهدوء محرِّكًا بيده منظومة من الروافع المركَّبة، جذب السفينة نحوه بسلاسة واستواء، كما لو كانت تنساب على الماء.
>
> بلوتارخ

## (٢) رَفْع نفسك بواسطة جذب رباط حذائك

هل يستطيع الرجل المرسوم في الشكل أن يرفع نفسه واللوح الذي يقف عليه مِن على الأرض؟ الأمر يبدو على أي حال كما لو أنه يحاول رفع نفسه بواسطة جذب رباط حذائه، وهو ما يعد أمرًا مستحيلًا، إلَّا في قصص البارون مانخاوزن المتباهية.

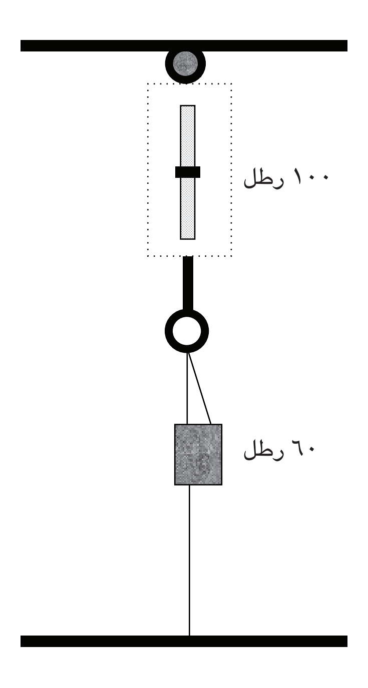


تستغرق قذيفة المدفع ٣ ثوانٍ و١ / ٣ ثانية كي تقطع أربعة أميال، ثم ٣ ثوانٍ و٣ / ٨ ثانية كي تقطع الأربعة أميال التالية، و٣ ثوانٍ و٥ / ٨ ثانية كي تقطع الأربعة أميال التالية، فإذا استمر معدل تقدُّمها بالتضاؤل بالنسبة ذاتها، فكم من الوقت ستستغرقه كي تقطع مليارًا وخمسمائة مليون ميل؟

كتاب «الحسابي»

## (٣) الميزان الزُّنْبُركي

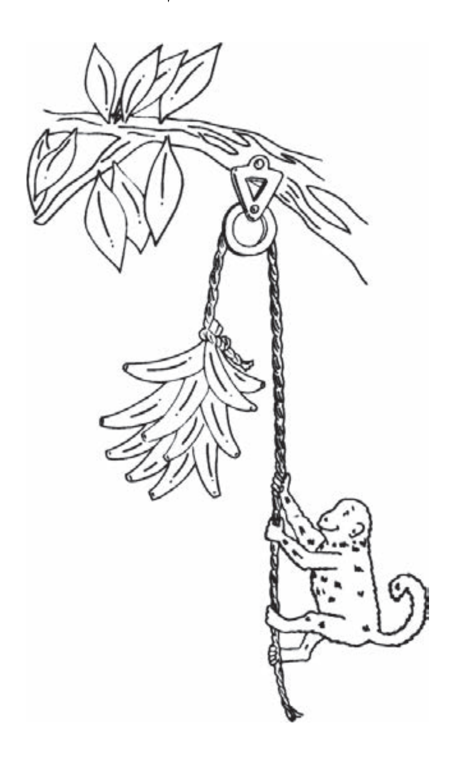
لدينا ميزان زُنبُركي معلَّق من السقف بواسطة حبل طويل، وهناك حبل ثانٍ مربوط بالميزان الزُّنْبُركي شُدَّ بإحكام بحيث يسجِّل الميزان قراءةً مقدارها ١٠٠ رطل، ثم ثُبِّتَ إلى الأرضية. إذا عُلِّق ثقلٌ وزنُهُ ستون رطلًا في خطاف الميزان، فما القراءة التي تتوقَّع أن يسجلها الميزان؟




> لا أدري.
>
> مارك توين (من «إجابات أسئلة المراسلين»)

## (٤) القرد والموز

هذه مسألة غير مألوفة، ويقال إن من ابتكرها هو تشارلز دودسن (المعروف أيضًا باسم لويس كارول)، وهي تسير كالتالي: يمرُّ حبل طويل عبر بَكَرة رافعة. ثمة سُباطة من الموز مربوطة في أحد طرفي الحبل، بينما يُمسك قردٌ له الكتلة عينها بطرف الحبل الآخر. ما الذي سيحدث للموز لو بدأ القرد في تسلُّق الحبل؟ افترض أن الحبل والبَكَرة في الحالة المثالية: فكلاهما عديم الوزن، والحبل عديم الاستطالة، ولا يوجد احتكاك يعارض دوران الرافعة.



> الجسم المتحرِّك يمكنه الحفاظ على حركته فقط لو أنه ظلَّ على اتصال بالمحرِّك.
>
> أرسطو

## (٥) ساعة رملية على ميزان

تُوزَن ساعة رملية على ميزان حسَّاس؛ أولًا حين يكون الرمل في الحُجَيرة السفلى، ثم مرة ثانية بعد قلب الساعة والرمل يتساقط من الحجيرة العليا. هل سيسجل الميزان الوزن نفسه في الحالتين؟

كعكة الهلام = $١٠^{٦}$ جول.

الطاقة التي ترفع بها البعوضة جسمها لمسافة ملِّيمتر واحد = ١ إرج = $١٠^{-١٣}$ كعكة هلام.

## (٦) كم يبلغ وزنِي على أي حال؟

حتى إذا وقفت دون حراك على ميزان دقيق، يواصل المؤشر التأرجح حول الوزن المتوسط. ما سبب هذا؟ وبينما تبدأ في النزول من على الميزان، ما الذي تتوقَّع حدوثه بالنسبة إلى القيمة الفورية لقراءة الميزان؟

الحقيقة العِلمية الجديدة لا تنتصر عن طريق إقناع المعارضين وجعلهم يرون ضوء الحقيقة، وإنما هي تنتصر لأن معارضيها يموتون في النهاية، ويشبُّ جيل جديد يَأْلَف هذه الحقيقة.

ماكس بلانك

## (٧) اللوح والمطرقة

تقف فتاة على لوح خشبي وتضرب أحد طرَفَيْه بمطرقة ثقيلة. تتحرَّك الفتاة واللوح معًا. من المرجَّح أن تكون قد فعلتَ شيئًا شبيهًا بهذا وأنت طفل ووجدتَ أن بإمكانك دَفْع نفسك على امتداد الأرضية. من أين تأتي القوة الخارجية؟ يمكننا أن نتخيَّل أن الفتاة واللوح محاطان بصندوق كبير يوفِّر للفتاة مساحة كافية لتطويح المطرقة بحيث تتحقَّق الحركة الموصوفة. يبدو الصندوق وقتها وكأنه يندفع للأمام دون أي مساعدة خارجية.

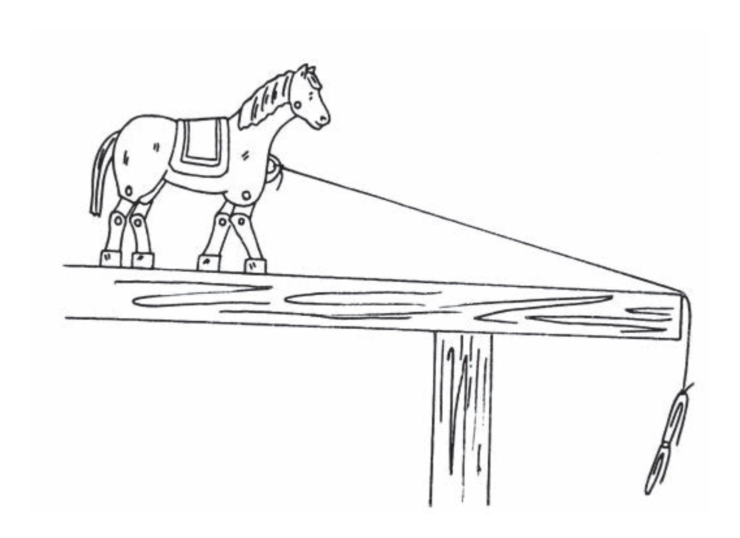
ألا يخرق هذا قانون نيوتن الأول الذي ينصُّ على أن الجسم يظلُّ في حالته الساكنة (إما السكون التام أو التحرُّك في خط مستقيم بسرعة ثابتة) ما لم تؤثِّر عليه قوة «خارجية» تغيِّر من هذا الحالة؟ الاحتكاك الانزلاقي بين اللوح والأرضية يُعَد قوة خارجية أفقية ذات صلة. لكن للأسف، هذه القوة الناتجة عن الاحتكاك الانزلاقي تتعارض مع حركة اللوح. كيف يمكن إذن للاحتكاك أن يدفع اللوح إلى الأمام؟



خَلَص نيوتن وهويجنز إلى أن قوة الطرد المركزية المرتبطة بدوران الأرض حول نفسها من شأنها أن تجعل الكرة الأرضية منتفخة عند خط الاستواء، وأكثر انبساطًا عند القطبين. ولأن علماء الفلك الفرنسيين البارزين وبعض المنظِّرين المتَّبعين لأفكار رينيه ديكارت كانوا قد خلصوا إلى العكس تمامًا، نُظر لهذه المسألة بوصفها الاختبار النهائي لمنظومَتَي نيوتن وديكارت المتنافستين بشأن العالَم. وقد أكَّدت النتائج التي وصلت إليها البَعثة الفرنسية في العَقد الرابع من القرن الثامن عشر انبساط القطبين؛ ومن ثم ساعدت على تأكيد انتصار نيوتن على ديكارت.

## (٨) الحصان المتمايل

هناك لُعبة قديمة على شكل حصان له قوائم مستقيمة تتمايل للأمام والخلف عند المفصَّلات الموجودة على جانبَي جسم الحصان. عند جذب هذا الحصان اللُّعبة على سطح طاولة بواسطة خيط، فإنه يميل إلى الأمام. تخيل أننا وضعنا حصانًا لُعبة على النحو المبيَّن بالشكل. يبدأ الحصان على بُعد قدم تقريبًا من حافة الطاولة، ويُجذَب للأمام بواسطة القوة الخارجية المؤثِّرة على امتداد الخيط الذي يمرُّ فوق حافة الطاولة كي يدعم جسمًا معلَّقًا (يتكون هنا من عدد من دبابيس الورق). ما الذي تتوقَّعه بشأن سلوك الحصان بعد أن يبدأ التحرك إلى الأمام؟



لا أعرف الشكل الذي قد أبدو عليه أمام العالَم، لكن أمام نفسي أبدو وكأنني مجرد صبي يلعب على شاطئ البحر، وأسلِّي نفسي من حين لآخر بالعثور على حصاة أَنْعَم أو صَدَفة أجمل من المعتاد، بينما يقبع محيط الحقيقة أمامي دون أن يَسْبُر أغواره أحدٌ.

إسحاق نيوتن

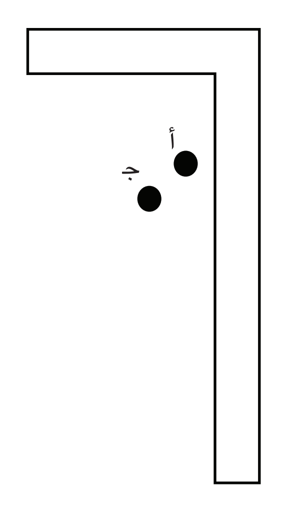
## (٩) مِدفعان

ما الذي سيحدث لو صُوِّب مِدفعان متماثلان أحدهما إلى الآخر وأُطلقت منهما قذيفتان متماثلتان بالسرعة عينها؟ أحد المِدفعين في موضع أعلى من الآخر، لكنَّ المِدفعين يواجه أحدهما الآخر مواجهة تامة.

## (١٠) قانون الجذب العام

عادةً ما يُعبَّر عن قانون نيوتن للجذب العام بواسطة المعادلة التالية: $F = GMm/d^2$؛ حيث $F$ تمثِّل القوة بين جُسَيْمين كتلتاهما $M$ و$m$. و$d$ هي المسافة بين مركزَيِ الكتلتين، و$G$ هي ثابت الجاذبية. هل هذه المعادلة صياغة صحيحة لقانون نيوتن للجذب العام؟

في تطبيق شائق لهذا القانون، تدبَّرْ زاوية نجَّار يقع مركز كتلتها عند النقطة (جـ) في المكان الموجود بين ضلعَيْها. أيُّ جسم كروي موضوع عند النقطة (جـ) ينبغي أن يبذل قوة جذب لا نهائية؛ لأن المسافة بين مركزَي الكتلة تساوي صفرًا! من الواضح أن هذه النتيجة محض هُراء. في الواقع، ربما يضع المرء كرة صغيرة في موضع أقرب إلى الزاوية الداخلية عند النقطة (أ) كي يُنتِج حركة تبدو وكأنها قوة طرد! كيف يمكن حلُّ هذه المعضلة؟




## (١١) موازنة عصا المكنسة

يمكن موازنة عصا قياس على إصبعك إذا كان موضع الإصبع عند مركز الجاذبية الخاص بها؛ أي في نقطة المنتصف. هنا يكون للنصفين طولان متساويان. يمكن أيضًا موازنة عصا المكنسة على إصبعك إذا كان موضع الإصبع عند مركز الجاذبية. إذا قسَّمت العصا

إلى جزأين عند مركز الجاذبية ووزنتَ كلَّ جزء على ميزان، فهل سيكون وزنا الجزأين متساويين؟

> علينا أن نعتبر الحالة الحاليَّة للكون بمنزلة تأثير لحالته السابقة، وسبب لحالته التالية. ومن شأن الفهم الملِمِّ بكل قوى الطبيعة، والملِمِّ أيضًا بمواضع كل أجزاء الطبيعة في أي وقت كان، أن يضمن في معادلة واحدة حركات كل الأجسام الكبرى وحركات أخفِّ الذرات.
>
> بيير سيمون دي لابلاس

## (١٢) يحيا الاختلاف!

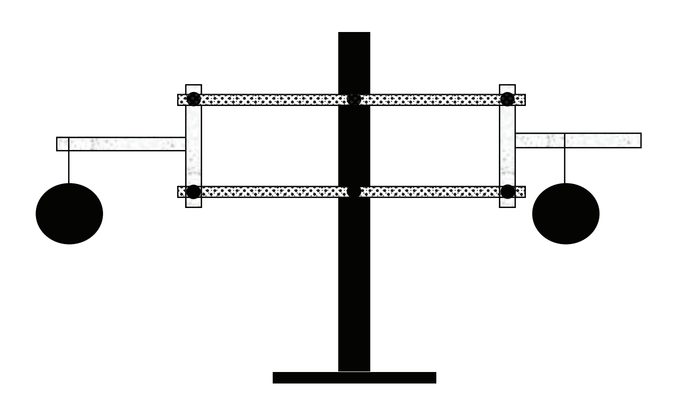
هل هناك اختلاف كبير بين الرجل والمرأة من حيث موضع مركز الجاذبية؟ التجربة التوضيحية التالية، المستخدمة أحيانًا بوصفها لُعبة من ألعاب الحفلات، يمكنها أن تكشف لنا بعض المعلومات: أولًا، تضم امرأة راكعة على ركبتيها مرفقَيْها وذراعَيْها ويدَيْها معًا (كما لو كانت «تُصلِّي»)، بحيث يمسُّ مرفقاها ركبتَيْها ويكون ساعداها مفرودين أمامها على الأرضية. تُوضع عُلبة كبريت أو جسم مماثل عند أطراف أصابعها. بعد ذلك تُشبِّك المرأة يديها خلف ظهرها ويُطلب منها أن تُسقِط عُلبة الكبريت باستخدام أنفها دون أن تنقلب. في العموم، تستطيع النساء القيام بهذا الأمر، فيما يفشل فيه أغلب الرجال. ما السبب؟

> الجامعات هي الأماكن التي يلمع فيها الحصى ويخبو فيها الماس.
>
> روبرت جي إنجرسول

## (١٣) مفارقة التوازن

الجسمان المتساويا الوزنِ المبيَّنان بالشكل يمكنهما الانزلاق في حرية على القضيبين الأفقيين المرتبطين بما يُشبه المنساخ الميكانيكي. وهذا المنساخ مبني بحيث تظل الوصلتان الرأسيَّتان في وضعهما الرأسي دائمًا، ويظل القضيبان الأفقيان الأطول متوازيَيْن دائمًا

حين تميل المنظومة بأي صورة كانت. حُرِّكَ الجسم الواقع إلى اليسار لمسافة أبعد على القضيب مقارنةً بالجسم الموجود على اليمين. أيُّ الناحيتين ستميل — هذا إن مالت إحداهما من الأساس؟



## (١٤) السير على حبل مشدود

يحمل السائرون على الحبال قضيبًا أفقيًّا ثقيلًا. قد تظن أن هذا الوزن الإضافي يجعل كل خطوة أكثر صعوبة ممَّا لو كان القضيب خفيف الوزن. ما الذي يحدث حقًّا؟ وكيف لفيزيائي أن يوزِّع وزن القضيب؟

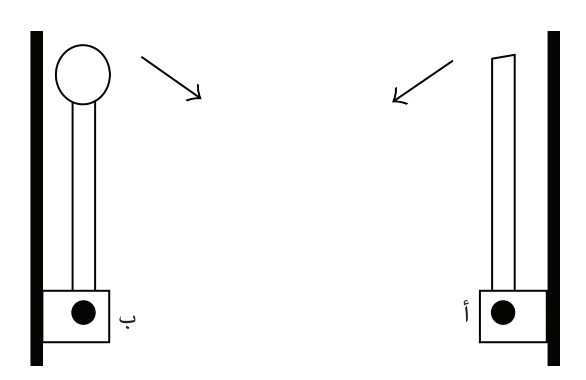
> إن القول بتأثير جسم على جسم آخر عبر فراغ — دون وساطة من أي شيء آخر — بواسطته ومن خلاله يمكن توصيل فعل وقوة كلٍّ منهما إلى الآخر، لهو سخفٌ عظيم لا أحسب أن شخصًا يملك قدرة على التفكير السَّوِيِّ في الأمور الفلسفية يمكنه الاقتناع به مطلقًا.
>
> إسحاق نيوتن

## (١٥) موازنة عصا عمودية

عمومًا، الأجسام ذات مراكز الجاذبية المنخفضة تكون أكثر استقرارًا من ذات المراكز المرتفعة. على سبيل المثال، يمكن أن يقف عَقِبُ قلم رصاص على طرفه المسطح بسهولة كبيرة، لكن يصعب كثيرًا أن تقف عصا طويلة على طرفها المسطح. لكن من قبيل المفارقة أن العصا الطويلة ذات مركز الجاذبية الأكثر ارتفاعًا تكون موازنتها على طرف الإصبع أيسرَ بكثير من موازنة قلم رصاص قصير. فلماذا؟

## (١٦) العِصِي المتسابقة

تدبَّرِ الأداة الموضَّحة بالشكل: العصوان (أ) و(ب) متماثلتان في الطول والكتلة، باستثناء أن العصا (ب) بها كرة صغيرة متصلة بأحد طرفَيْها. العصوان حُرَّتان في الدوران حول محور صُلب عديم الاحتكاك. بفرض أن العصوَيْن تنطلقان في الوقت ذاته من السكون حين تقفان منتصبتين على المحور، فما الذي تتوقَّع حدوثه بشأن الوقت المنقضي حتى وصولهما إلى أكثر مواضعهما انخفاضًا؟



في جامعة كامبريدج، كان نيوتن نموذجًا للأستاذ الجامعي الشارد الذهن. وقد كتب سكرتيره، هنري نيوتن (لا قرابة بينهما) أنه «لم يعرف قط بأن نيوتن قضى أي وقت في الاستجمام أو الترفيه، سواء تمثَّل هذا في ركوب الخيل في الهواء الطَّلْق أو التمشية أو لعب البولينج أو أي تمارين كانت؛ لأنه كان يرى أن أي وقت يمضيه في شيء غير دراساته هو وقت ضائع.» وكثيرًا ما كان نيوتن يعمل حتى الثانية أو الثالثة صباحًا، ويتناول القليل من الطعام، وأحيانًا كان ينسى أن يأكل بالمرة. وحين كان يذكِّره أحدهم بأنه لم يأكل، كان يذهب إلى الطاولة و«يأخذ قضمة أو قضمتين وهو واقف»، ونادرًا ما تناول نيوتن طعامه في قاعة الطعام بالجامعة، وحين كان يحدث هذا كان يظهر «وقد انتعل حذاءً قديمًا مهترئًا دون أن يربط جوربَيْه بإحكام، مرتديًا عباءته البيضاء، وقد مشَّط شعره بالكاد.» ويقال إنه في أحيان كثيرة كان يُلقي محاضراته في قاعة خاوية، بنفس الرضا الذي كان يُلقي به محاضراته في قاعة مليئة بالطلاب.

آي برنارد كوهين

## (١٧) الأصابع السحرية

ادعم عصًا منتظمةَ الشكلِ (عصا قياس مِتْرية أو وتدًا طويلًا) بسبابتَيْك، بحيث لا تكون العصا في وضع أفقي وإنما تميل ميلًا واضحًا. ابدأ والإصبعان الداعمان على مسافة متساوية من مركز الجاذبية. قبل أن تفعل أي شيء، تنبَّأ بأي الجانبين سيتحرَّك أولًا؛ جانب الإصبع الأعلى أم الأدنى؟ بعد ذلك حرِّكْ سبابتَيْك معًا ببطء ولاحظ حركتهما المبدئية. ما تفسير الأمر؟

## (١٨) سباق عُلب الحساء

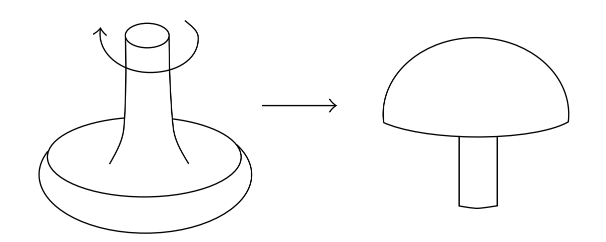
إذا أطلقتَ في الوقت نفسه كرةً مصمَتَةً، وأسطوانة مصمَتة وطوقًا من على قمة مستوًى مائل، ففي كل مرة ستفوز الكرة بالسباق. فالكثافة المنتظمة للكرة ستفوز بكل هذه السباقات بغض النظر عن كتلتها و/أو نصف قطرها مقارنةً بكتل وأنصاف أقطار الأطواق والأسطوانات.

ثمة تنويع شائع على هذا السباق يتمثَّل في مقارنة الهبوط من على مستوًى مائل بين عُلبة من حساء الدجاج وعُلبة تحوي شيئًا آخر مثل حَساء كريمة البروكلي. ما الذي تتوقَّع حدوثه؟ هل ستعتمد النتيجة على أبعاد العُلبة؟ على الكتلة؟ ما الذي يعتمد عليه التسارع على منحدر؟

> لقد تأخَّر العلم كثيرًا بسبب دراسة ما لا يستحق المعرفة ودراسة ما يستحيل معرفته.
>
> جوته

## (١٩) النحلة الدوَّارة المنقلبة

النحلة الدوَّارة المنقلبة البلاستيكية لها شكل أشبه بعَيْش الغراب. وإذا تركت هذه اللعبة وهي تدور على الأرض، فسريعًا ما ستقلب نفسها مع استمرارها في الدوران حول نفسها. إذا كانت النحلة تدور قبل أن تنقلب في اتجاه عقارب الساعة إذا ما نُظر إليها من الأعلى، ففي أي اتجاه ستدور بعد أن تنقلب؟ ما الدور الذي يلعبه الاحتكاك في انقلاب النحلة؟



## (٢٠) الحَجَر نصف البيضاوي الغامض

إذا أدرتَ «حَجَرًا نصف بيضاوي» حول نفسه (وهو حجر طويل له قاع مستدير) في الاتجاه «الخاطئ»، فسيتوقف سريعًا، ويهتز لأعلى وأسفل لبضع ثوانٍ، ثم يدور حول نفسه في الاتجاه العكسي. أغلب هذه الأحجار له قاع بيضاوي الشكل، بحيث يوجد المحور الطولي للجزء السفلي البيضاوي بزاوية مقدارها خمس إلى عشر درجات على المحور الطولي للجزء العلوي المسطَّح. ما العمليات الفيزيائية المسئولة عن هذا السلوك الغامض؟

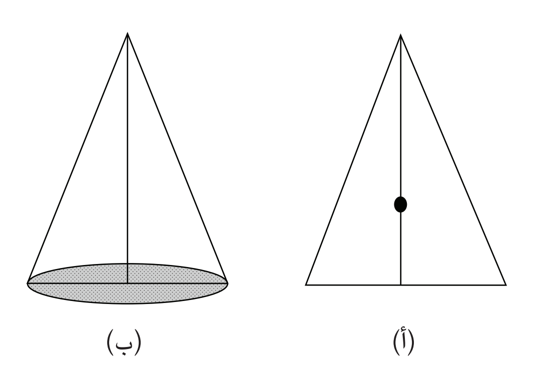
## (٢١) الرصاصة الغامضة

تَضْرِب رَصاصتان مثاليتان، متماثلتا الشكل والحجم والكتلة، الهدفَ نفسه، وكانت لهما السرعة نفسها قُبيل ضرب الهدف مباشرة. يسجِّل جهازا قياسٍ للقوة موضوعان عند الهدف أن الرَّصاصة (أ) تمتلك ضعف قيمة القوة مقارنةً بالرَّصاصة (ب). هل أحد جهازَي القياس مخطئ في قياساته؟

> الآن أرى رؤيا رباعية الأجزاء
> وأُلقِيت رؤيا رباعية الأجزاء عليَّ
> إنها رباعية الأجزاء في بهجتي العظمى
> وثلاثية الأجزاء في ليل بيولا الهادئ
> وثنائية الأجزاء دومًا.
> فليحفظنا الله من الرؤيا الواحدة،
> ومن غفلة نيوتن!
>
> ويليام بليك (تمرُّد على النظرة الميكانيكية الواحدة، أو التفكير الخطِّي، لنيوتن)

## (٢٢) مركزا الكتلة لمثلث ومخروط

يقع مركز الكتلة لمثلث متساوي الساقين عند ثلث ارتفاع المثلث فوق القاعدة (انظر الجزء (أ) من الشكل). الآن تدبَّر مخروطًا دائريًّا قائمًا له المقطع العرضي ذاته (انظر الجزء (ب) من الشكل). هل يقع مركز كتلته أيضًا عند ثلث ارتفاع المخروط؟



**المُسَلَّمة الأولى:** المعرفة قوة.

**المسلَّمة الثانية:** الوقت مال.

لكن القوة = الشغل/الوقت. باستخدام المسلَّمتين الأولى والثانية، يمكن كتابة هذا على النحو التالي: المعرفة = الشغل/المال. ولتحديد قيمة المال، ستكون المعادلة: المال = الشغل/المعرفة؛ بمعنى أنه بينما تقترب المعرفة من الصفر، يقترب المال من اللانهائية، بغض النظر عن الشغل المبذول. النتيجة: كلما عملتَ أقل، كسبتَ مالًا أكثر.

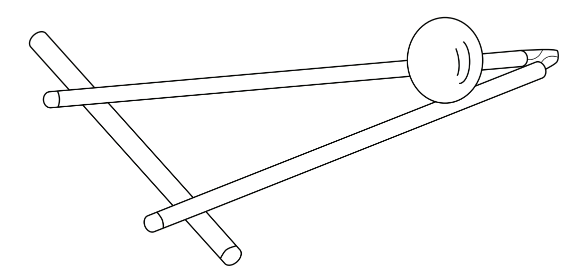
## (٢٣) البقاء على القمة

إذا هززتَ دلْوًا مملوءةً على نحو جزئي بتفاحات ذات أحجام متفاوتة لمدة دقيقتين، فسينتهي المطاف بالتفاحات الأكبر وهي على القمة، فلماذا؟

وقف المحاضر الزائر أمام السبورة يعمل على اشتقاق علاقة جبرية، لكنه شعر بالحرج عندما جاءت النتيجة سالبة بدلًا من موجبة، فقال للحضور: «لا بد أنني ارتكبت خطأً ما.» صحَّح له باولي (أم تُراه كان ديراك؟) من بين الحضور قائلًا: «بل الأرجح أنك ارتكبتَ عددًا فرديًّا من الأخطاء.»

## (٢٤) الجاذبية المضادة

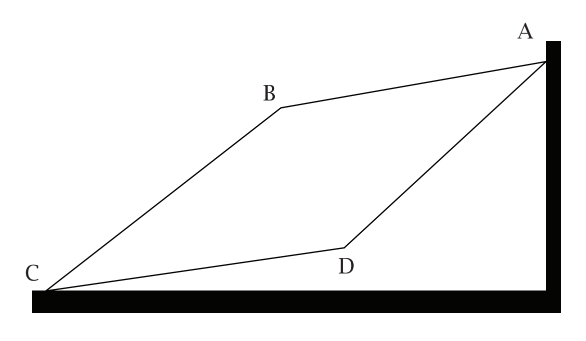
أَجْرِ التجربة التالية في منزلك: شبِّك دبوسَي ورق معًا وأدخِلْ طرفَيْهما المتعاكسَيْن في ماصَّتين. ضَعِ الماصتين معًا فوق ماصة ثالثة أو قلم رصاص، ثم ضَعْ بِلْية عند الطرف الأكثر انخفاضًا، وتدريجيًّا باعِدْ بين الماصتين عند الطرف الأعلى. من المثير للدهشة أن البلية ستبدو وكأنها تتدحرج صعودًا! كيف لهذه البلية أن تبدوَ كأنها تتحدَّى قوة الجاذبية؟



بلَغ عدد الكلمات التي كتبها نيوتن في موضوع الخيمياء نحو ٦٥٠ ألف كلمة؛ ومن ثم يمكن القول بأن عمله في الفيزياء كان بمنزلة مقاطعة للبحث الأكبر الذي امتد طيلة حياته. وفي هذا السياق، كتب موريس بيرمان يقول: «إن محورَ المنظومة النيوتونية، قوةَ الجذب التثاقلية، كان في حقيقته مبدأ القُوى المتعاطفة الهرمسي القديم، الذي رآه نيوتن بوصفه مبدأً خلَّاقًا، مصدرًا للطاقة السماوية للكون. ورغم أن نيوتن قدَّم فكرته بصبغة ميكانيكية، فإن كتاباته «غير المنشورة» تكشف عن التزامه بحجر أساس جميع المنظومات السحرية؛ فكرة أن العقل يوجد داخل المادة وأن بوسعه التحكم بها (المشاركة الأصلية).»

موريس بيرمان

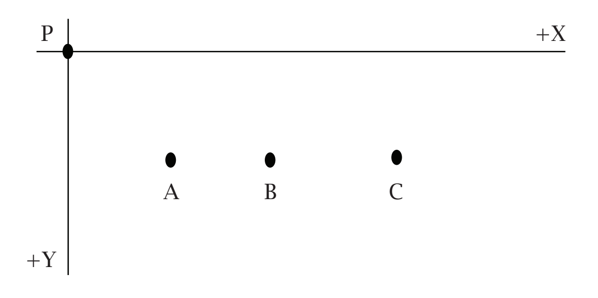
## (٢٥) أيُّ مسار؟



تخيَّل أربعة أسطح مائلة موضوعة بحيث تشكِّل مُعيَّنًا، على النحو المبيَّن بالشكل. تُطلَق كرتان متماثلتان من النقطة A، بحيث تتدحرج واحدة منهما على امتداد المسار ABC، والثانية على امتداد المسار ADC. ما الذي تتوقَّع حدوثه؟

## (٢٦) هل الطريق الأقصر هو الأسرع؟

تخيَّل أن خرزة عديمة الاحتكاك أُطلقت عند النقطة P الموضَّحة في الشكل. ارسم أشكال قطعة سلك تحدد أسرع المسارات (أي أقصر زمن) من النقطة P إلى النقاط A وB وC. لن يكون بإمكانك رسم خطوط مستقيمة! بل ستحتاج إلى مسارات تبدأ بإسقاط عمودي شديد الانحدار. فلماذا؟

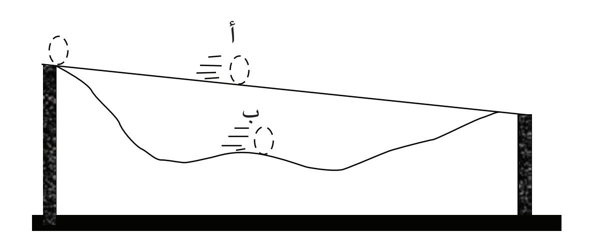



قضى إسحاق نيوتن سنوات محاولًا تحديد تاريخ نهاية العالم، وكان يميل إلى أن نهاية العالم ستكون عام ١٩٤٨م.

## (٢٧) منحنى أقصر وقت غير المقيد

بِلْيَتان متماثلتان تبدآن بالسرعة الابتدائية عينها وتتدحرجان على مسارين مختلفين، بحيث تتدحرج البِلية (أ) على مسار مستوٍ، به انحدارٌ طفيف من البداية إلى النهاية، وتتدحرج البلية (ب) عبر ارتفاعات وانخفاضات المسار الثاني صعودًا وهبوطًا من نفس الموضع الابتدائي حتى وصولها إلى نفس الموضع النهائي، وفي جميع الأوقات تحافظ على

اتصالها بمسارها. إذا بدأت البِلْيتان في الوقت ذاته من السكون، فأيُّ البِليتين تتوقَّع أن تصل أولًا؟ ما العمليات الفيزيائية ذات الصلة؟



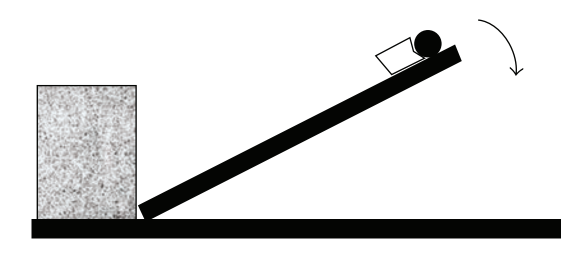

> جزءٌ من التفكير يتمثَّل في قسوته، علاوةً على محتوياته. إنها عملية الانفصال عن كل شيء، التمزُّق، الانتزاع، حِدَّة القَطْع.
>
> إلياس كانيتي

## (٢٨) قصبتان مائلتان*

خُذْ قصبتين لهما مقطع عرضي منتظم متماثل، واترُكْ إحداهما عارية كما هي واربِطْ في الثانية جسمًا ثقيلًا في طرفها العلوي. ضَعْهما من ناحية طرفيهما السفليَّين قبالة حائط، لكن بنفس الزاوية من الرأسي. بعد ذلك حرِّر القصبتين في الوقت ذاته بحيث تبدآن في السقوط على الأرضية. ما الذي تتوقَّع حدوثه؟ بفرض أن الجسم الثقيل كان مربوطًا في موضع أكثر انخفاضًا على القصبة، فما الذي سيحدث وقتها؟

> كان العمل لدى فولفجانج باولي رائعًا للغاية. كان بوسعك أن تسأله أي سؤال، دون أن تقلق من أنه سيرى أن سؤالك تحديدًا يبدو غبيًّا؛ وذلك لأن كل الأسئلة في الواقع كانت تبدو غبية في نظره.
>
> فيكتور فايسكوبف

## (٢٩) أسرع من السقوط الحر*



هل يمكن للأجسام أن تسقط بعجلة تفوق عجلة الجاذبية؟ للإجابة عن هذا السؤال، جرِّب التالي: اصنَعْ كوبًا غير عميق بأن تَقطَع كوبًا من الستيروفوم على مسافة ٣ سنتيمترات من القاع. اضغط أحد الجوانب للداخل بحيث يشير بعيدًا عن المستوى الرأسي بزاوية مقدارها ٣٠ درجة. بعد ذلك ثبِّت الكوب بشريط لاصق على مسطرة قياس مُدْرَجة (أو عصًا مِتْرية) بحيث يكون مركزه على مسافة نحو ٦ سنتيمترات من النهاية والجانب المنبعج يواجه الطرف القريب من العصا.

أمسِكِ المسطرة بزاوية ثلاثين إلى أربعين درجة على الأفقي، بحيث يستند طرفها على الأرضية إلى جسم صلب كحائط مثلًا. ضع كرة صغيرة قبالة الكوب بحيث تستند على الجزء المنبعج من الكوب. لاحِظْ أن حافة الكوب أعلى من الكرة. بعد ذلك دَعِ المسطرة تسقط. ويا لَلْعجبِ! ستسقط الكرة داخل الكوب، وهو ما يشير إلى أن عجلة الكوب كانت أكبر من عجلة الجاذبية (عجلة الجاذبية $g$ تساوي ٩٫٨ متر/ث٢)؛ ومن ثم يسقط بعيدًا عن الكرة. كيف تكون هذه النتيجة صحيحة؟

> لم يقترب بشريٌّ قَطُّ من الآلهة قدْرَ ما اقترب هو.
>
> إدموند هالي (متحدِّثًا عن نيوتن)

## (٣٠) أسطوانتان متسابقتان*

لديك أسطوانتان متماثلتان في الحجم والكتلة. الأسطوانتان مصنوعتان من مادتين ذَوَاتَيْ كثافتين مختلفتين. الأسطوانة المصنوعة من المادة الأعلى كثافة مجوَّفة. كيف لك أن تعرف أيُّ الأسطوانتين المجوَّفة؟

> كي نسيطر على الطبيعة، لا بد من الإذعان لها.
>
> فرانسيس بيكون

## (٣١) الاحتكاك المساعد للحركة*

نفكِّر عادةً في الاحتكاك بوصفه حركةً معاكِسة. هل يمكن في بعض الأحيان أن يساعد الاحتكاك الحركة؟ الجواب نعم؛ ففي الواقع، نحن نستشعر التأثيرات المفيدة للاحتكاك مرات عدة أثناء اليوم. فحين تتسارع سيارة إلى الأمام من إشارة التوقُّف، تُنتِج قوةُ الاحتكاك الساكن بين الطريق وعجلات السيارة هذا التسارع للأمام.

الآن لنباشر المسألة التي بين أيدينا: هل يستطيع الاحتكاك أن يُنتِج تسارعًا «أكبر» للجسم؟ تدبَّرِ الحالة الاختبارية التي فيها يُلَف حبلٌ مراتٍ عدة في اتجاه عقارب الساعة حول أسطوانة أفقية (ملف خيوط على سبيل المثال) بكتلة $M$، وشُدَّهُ بقوة أفقية $F$ نحو اليمين، بحيث تتدحرج الأسطوانة دون انزلاق. هل يمكنك أن تبيِّن أن التسارع الأفقي للأسطوانة هو $(4/3)(F/M)$؛ بمعنى أنه «أكبر» من التسارع $F/M$ الذي تنتجه الأسطوانة حين تُشَد ببساطة على امتداد السطح دون أي دوران أو احتكاك؟ تذكَّرْ أن القوة المطبقة $F$ وقوة الاحتكاك الساكن هما القوتان الأفقيتان الخارجيتان الوحيدتان المؤثرتان على الأسطوانة. لا مفر من الاستنتاج الحتمي؛ فقوة الاحتكاك الساكن لا بد أن تكون في نفس اتجاه القوة $F$، بحيث تساعد الأسطوانة على التحرك بسرعة أكبر. هل هناك أي خطأ بشأن هذا الاستنتاج؟

كان روبرت ويلسون [في شهادة أمام لجنة من الكونجرس] متحمِّسًا في الدفاع عن معجِّل [فيرميلاب]، وكان السيناتور باستور متحمسًا في النقاش هو الآخر. كان أحد الأسئلة التي وجَّهها السيناتور: «هل هناك أي شيء متصل بهذا المعجِّل يمكنه أن يرتبط بأي شكل كان بأمن هذا البلد؟» أجاب ويلسون: «كلَّا يا سيدي، لا أعتقد هذا.» كرَّر السيناتور سؤاله: «لا شيء على الإطلاق؟» وفي النهاية أجاب ويلسون: «[المعجل] له علاقة بكوننا رسامين جيدين، نحاتين جيدين، شعراء عظماء ... وليس له علاقة بدفاعنا عن بلدنا، ما عدا أنه يجعلها تستحق الدفاع عنها.»

دينيس فلاناجان

## (٣٢) ملف الخيوط المطيع*

خُذْ ملفَّ خيوطٍ — يُفضَّل أن يكون كبيرًا ومن النوع المتصل به سلك — ثم لُفَّ شريطًا حول محور الملف بحيث «ينسلخ بسهولة» من القاع. جرِّبْ بعد ذلك جذبَ الشريط، وستأتي النتائج مخالفة لتوقعاتك. فمن خلال زيادة الزاوية بين الشريط والمستوى الرأسي، يمكن جعل الملف يلفُّ نحوك. ومن خلال تقليل هذه الزاوية، يمكن جعل الملف يلفُّ بعيدًا عنك. ومن الممكن العثور على قيمة وسيطة للزاوية ينسلت فيها الشريط دون لفٍّ على امتداد الأرضية. كيف يمكن تفسير هذا السلوك العجيب؟

المرأة الغاضبة تنتج عجلة مقدارها $100g$ عند قدمها عندما تقرع الأرض بكعبها العالي.

## (٣٣) مَن الفائز؟*

في أي سباق على سطح مائل ستفوز الكرة المصمَتة ذات الكثافة المنتظمة دائمًا على الأسطوانة المصْمَتة. وستفوز الأسطوانة المصمَتة على الطوق. ما الذي تتوقَّع حدوثه عند دحرجة مخروط مصمَت «على نحو مستقيم» هبوطًا على السطح المائل في سباق ضد الأشكال الثلاثة السابقة؟ كيف يمكن جعل المخروط يتدحرج على نحو مستقيم؟

الجامعات تكره العباقرة، تمامًا مثلما تكره الأديرةُ القدِّيسين.

إيمرسون

## (٣٤) تحريك الأرجوحة*

يستطيع أغلب الأطفال تحريك الأرجوحة من السكون دون أي مساعدة خارجية، ودون أن يلمسوا الأرض أو أيَّ جسم آخر. كيف يمكن تحقيق هذا الأمر؟

في عام ١٩١٢م، حين أعلنت لجنة الاختيار لجائزة نوبل اختيار كلٍّ من نيكولا تسلا وتوماس إديسون كي يتقاسما جائزة نوبل في الفيزياء، رفض تسلا الجائزة في غضب؛ فقد كان يَعُدُّ نفسه مكتشفًا للمبادئ الأساسية، أما إديسون فلا يعدو كونه مخترعًا لأجهزة؛ ومن ثم رفض أن يرتبط اسمه باسم إديسون. في النهاية ذهبت جائزة نوبل في الفيزياء لعام ١٩١٢م إلى نيلز جوستاف دالين، مخترع المنظمات الأوتوماتيكية للمصابيح الغازية في الفنارات والطوافي.

## (٣٥) تحريك الأرجوحة في وضعية الوقوف*

إذا تلقَّى الطفل الواقف على الأرجوحة دفعة خفيفة، فسريعًا ما سيتعلم — بالمحاولة والخطأ — أن يكتسب ارتفاعًا من خلال عملية ضغط بقدمَيْه تعظِّم الانحراف المبدئي. ما العمليات الفيزيائية المسئولة عن هذا الأمر؟

## (٣٦) تحريك الأرجوحة في وضعية الجلوس*

هل تدفع نفسك وأنت جالس على الأرجوحة على نحوٍ مخالف لما تفعل وأنت واقف عليها؟

**نيوتن والقمر ١**

من أجل حساب معدل اقتراب القمر من الأرض، من الضروري معرفة المسافة الدقيقة بين سطح الأرض ومركزها، وهذه بدورها تعتمد على حجم درجة الطول. ولَمَّا كان نيوتن بعيدًا عن كامبريدج وعن كتبه [في عام ١٦٦٦م]، فإنه استخدم تقديرًا جاريًا يبلغ نحو ٦٠ ميلًا لدرجة الطول

الواحدة، وهو ما كان يقلُّ بمقدار السُّدس عن الرقم الفعلي. نتيجة لهذا، كان نيوتن سيحسب أن القمر في اقترابه من الأرض سيقطع ١٢ قدمًا في الساعة الأولى، بينما وَفْق قانون التربيع العكسي ينبغي أن يكون الرقم ١٦ قدمًا في الساعة الأولى. لم يكن نيوتن راضيًا عن هذا التناقض. وقد خَلَص بحذره المعهود إلى أن عاملًا آخر، ربما الدوامات الديكارتية، كان ذا تأثير، ونحَّى المشكلة جانبًا لقرابة عشرين عامًا.

فنسنت كرونين

## (٣٧) العجلة الدوَّارة*

يُمسِك رجلٌ بعجلة درَّاجة ذات إطار مملوء بالرصاص أمام صدره، بحيث يكون كل طرف من طرفَي المحور الأفقي في كل يدٍ من يدَيْه المفرودتين. تُدار العجلة الرأسية بين ذراعيه. بفرض أن الرجل يريد أن يدير سطح العجلة الدوَّارة قليلًا إلى اليسار حول محورها العمودي الحالي؛ أي يظل المحور أفقيًّا بينما تقترب يده اليسرى من أضلاعه وتبتعد يده اليمنى عنها، فهل سينجح الدفع للأمام بيده اليمنى والشد للخلف بيده اليسرى في تحقيق المطلوب؟



> لم يكن نيوتن أعظم عبقري وُلد على الإطلاق فحسبُ، بل كان أيضًا الأشد حظًّا؛ من حيث إنه لا يوجد سوى كون واحد؛ ومن ثم يمكن لرجل واحد فقط على مدار التاريخ أن يفسِّر قوانين هذا الكون.
>
> بيير سيمون دي لابلاس

## (٣٨) الاصطدام بجدار مُصمَت*

تخيَّل أن كرةً ذات كتلة $m$ وسرعة $v$ اصطدمت تصادمًا مباشرًا بجدار مصمَت. إذا كان التصادم مَرِنًا، فسترتدُّ الكرة بالسرعة $v$ عينها. لكن إذا صحَّ هذا، فستكون طاقة الحركة للكرة، $(1/2)mv^2$، محفوظة، لكن الزخم، $mv$، ليس كذلك؛ لأن سرعتها (وهي متَّجِهة) ستكون موجَّهة الآن في الاتجاه المعاكس.

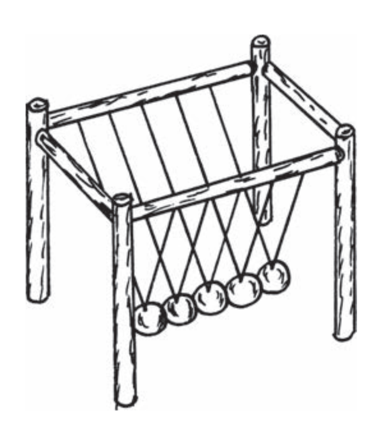
قد يقول القارئ الحصيف إن قانونَيْ حفظ الطاقة وحفظ الزخم ينبغي تطبيقهما على المنظومة كلها التي تتكوَّن من الكرة والجدار (أو الكرة + الأرض). وهذا أمر صحيح. في هذه الحالة فإن التغيُّر في زخم الكرة (الزخم النهائي مطروحًا منه الزخم الابتدائي)، $m(-v) - mv = -2mv$، إضافة إلى التغير في زخم الكرة + الأرض، $MV - M(0) = MV$، يجب أن يكون مجموعهما صفرًا. لكن هذه الطاقة لن تكون محفوظة؛ لأن الطاقة الإجمالية قبل التصادم هي $mv^2/2$، والطاقة الإجمالية بعد التصادم هي $mv^2/2 + MV^2/2$. ما حل هذا التناقض؟

> يستطيع العلمُ أن ينقِّي الدينَ من الأخطاء والخُرافات، بينما يستطيع الدينُ أن ينقِّي العلمَ من عبادة الأوثان والمطلقات الخاطئة.
>
> البابا يوحنا بولس الثاني

## (٣٩) لعبة المديرين: كرات نيوتن*

هناك لُعبة شهيرة تتكوَّن من خمس كرات من الصُّلب، جميعها لها نفس الحجم والكتلة، معلَّقة جنبًا إلى جنب على اتصال في صفٍّ مستقيم على هيكل معدني خيطي مزدوج.

إذا جذبتَ كرةً من عند أحد الطرفين وتركتَها، فستتحرك كرة واحدة من الطرف الآخر، وإذا جذبت كرتين من الطرف عينه، وتركتهما معًا، فستتحرك كرتان من الطرف الآخر، وإذا جذبتَ ثلاث كرات، وتركتها معًا، فستتحرك ثلاث كرات من الطرف الآخر، وهكذا دوالَيْك. من الواضح أن هذه الكرات تستطيع العدد! كيف لها أن تعرف؟



## (٤٠) المطرقة*

لِمَ يكون من الأيسر أن تدقَّ وتدًا صغيرًا في الأرض باستخدام مطرقة ثقيلة (حتى لو ضربتَ بها برفق) مقارنةً بمطرقة خفيفة، رغم أن الأخيرة يمكن أن تضرب بها بقوة؛ ومن ثم تمنحها قوة كبيرة؟ قارنْ هذا الموقف بعملية تشكيل المعادن؛ ففي هذه الحالة تكون المطرقة أخفَّ كثيرًا من السِّندان، فلماذا؟

لم يكن نيوتن باكورة عصر العقل، بل كان آخر السَّحَرة ... لقد نظر نيوتن إلى الكون بأسره وإلى كل ما فيه بوصفه «لغزًا»؛ سرًّا يمكن قراءته إذا أخضعنا للتفكير الخالص دلائلَ معيَّنة، إشاراتٍ غامضة وضعها الله بشأن العالم كي يمكِّن فئةً بعينها من الفلاسفة من التسابق على حلِّها. وقد آمن نيوتن بأن هذه الإشارات يمكن العثور عليها جزئيًّا في الدلائل التي تأتينا من السماء وفي تركيبة العناصر (وهذا هو ما يعطي الإيحاء الخاطئ بأن نيوتن كان فيلسوفًا طبيعيًّا تجريبيًّا)،

> ولكنها توجد جزئيًّا أيضًا في أوراق وتقاليد معينة توارثناها عن إخوتنا في سلسلة متصلة تصل إلى الكشف الأصلي للألغاز في بابل. وقد اعتبر الكون بمنزلة رسالة مشفَّرة كتبها الله.
>
> جون ماينارد كينز

## (٤١) زيادة السرعة*

عند وَضْع كرة صغيرة فوق كرة أخرى أكبر ثم تَرْك الكرتين تسقطان معًا، يحدث أمر عجيب عندما ترتد الكرتان عن الأرض؛ إذ ستندفع الكرة الأصغر إلى أعلى، وقد تصل إلى ارتفاع يعادل تسع مرات قدر ارتفاعها المبدئي! هل لديك فكرة عن سبب حدوث هذا؟

## (٤٢) ارتداد الكرة المطاطية المرنة*

تقترب كرة مطاطية مرنة من الأرض بسرعة أفقية للأمام ودوران غير معروف. بعد الارتداد عن الأرض، تظل سرعتها إلى الأمام، لكن يصير دورانها صفرًا. ماذا كان اتجاه الدوران المبدئي؟

> إذا أغلقت بابك في وجه الأخطاء، فستظل الحقيقة بالخارج هي الأخرى.
>
> رابندرنات طاغور

## (٤٣) البندول الحلقي*

لدينا طوق منتظم مدعوم بحيث يتدلَّى في المستوى الرأسي على حدٍّ سِكيني. هذا البندول المادي، المضبوط بحيث يهتز في المستوى، له فترة اهتزازية طبيعية. بعد ذلك، تُؤخذ مقاطع متناظرة بداية من قاع الطوق. ما فترة اهتزاز نصف الطوق؟ وما فترة اهتزاز ربع الطوق؟ ما الأمر المثير للدهشة بشأن سلوك هذه المنظومة الاهتزازية؟

## (٤٤) بندول عجيب*

بندول بسيط يتأرجح بِحُرية بتردُّده الطبيعي $f_0$، وفجأة تبدأ نقطة الدعم الخاصة به في الاهتزاز لأعلى وأسفل في حركة توافقية بسيطة بالتردد $f$. ما التردد الذي يجب أن تكون $f$ عليه كي تزيد بسرعة مدى كل أرجحة للبندول؟

**نيوتن والقمر ٢**

أثار ظهور مذنَّب في عام ١٦٨٠م، ثم مذنَّب ثانٍ في عام ١٦٨٢م، يتحرَّكان في اتجاه معاكِس لحركة الكواكب، اهتمامًا متجدِّدًا بمسارات هذه الظواهر اللافتة القصيرة الأجل، وحول تفكير نيوتن في اتجاه علم الفلك مجدَّدًا. وفي يونيو ١٦٨٢م، في اجتماع للجمعية الملكية، سمع نيوتن بأعمال السيد جان بيكار، الذي كان يرسم خريطة فرنسا باستخدام معَدَّات متقدِّمة، ووجد أن طول درجة الطول الواحدة يبلغ ٦٩,١ ميلًا. أعاد نيوتن حساباته السابقة مستخدمًا قيمة بيكار، ووجد أن معدل اقتراب القمر من الأرض يتوافق تمامًا مع قانون التربيع العكسي.

فنسنت كرونين

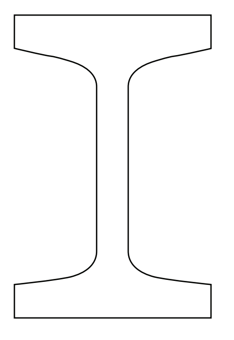
الفصل الثامن

# الهياكل الداعمة

تمثِّل الهياكل أساس كل الأجسام المادية؛ بدايةً من الذرَّة والهياكل الموجودة داخل الكائنات الحية، إلى الهياكل التي مِن صنع الإنسان على الأرض، ووصولًا إلى البِنى الكونية نفسها. في هذا الفصل سنركِّز على الهياكل المألوفة وبعض قواعدها الأساسية، علاوةً على بعض سماتها الغريبة. ومن الأمور التي سنقابلها هنا البراغيث القافزة والعوارض التي على شكل حرف I، والنقانق المنفجرة، إلى جانب تحديات أخرى.

## (١) عارضة على شكل حرف I

العوارض المعدنية المستخدَمة في البناء عادةً ما يكون شكل مقطعها العرضي على شكل حرف I بالإنجليزية؛ بحيث تتركَّز معظم المادة في حافتين ضخمتين بالأعلى والأسفل، يربط بينهما جزء رفيع. ما سبب شيوع هذا الشكل تحديدًا؟



> كلما زاد ارتباط قوانين الرياضيات بالواقع، قلَّ مقدار ما تتسم به من يقين، وكلما زاد ما تتسم به هذه القوانين من يقين، قلَّ ارتباطها بالواقع.
>
> ألبرت أينشتاين

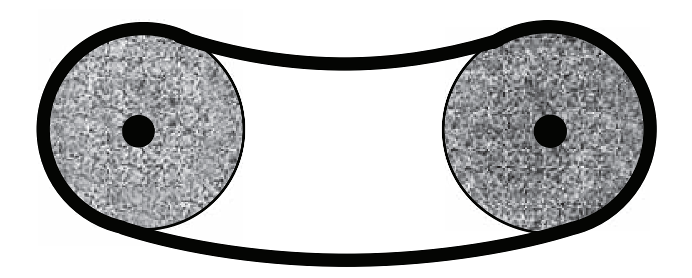
## (٢) أنبوب الألومنيوم

القصبة المصمَتة والأنبوب المصنوعان من الألومنيوم ولهما القطر ذاته، لا يتمتعان بالقوة نفسها عند بذل قوى متساوية عليهما. ما الذي تتوقَّع حدوثه في هذه الحالة؟ ولماذا؟

> اكتب المجموعة المتتالية من الأرقام: ١١٣٣٥٥. اقسمها إلى نصفين، واقسم النصف الثاني على الأول. النسبة ٣٥٥ / ١١٣ هي تقريب ممتاز لثابت الدائرة (باي).

## (٣) بكرتان

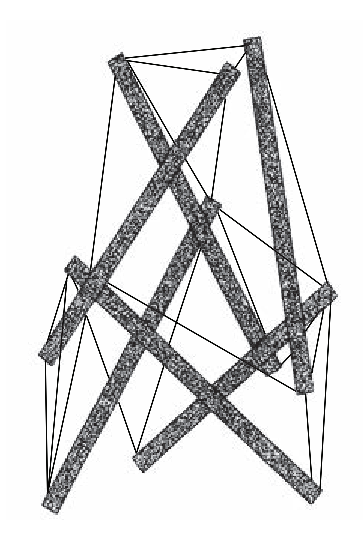
تتصل بَكْرتان متماثلتان يقع مركزاهما على المستوى ذاته بِسَير. البكرة إلى اليسار هي البكرة المحَرِّكة. هل تكون القوة العظمى التي يمكن نقلها بواسطة السير أكبر حين تدور البكرتان في اتجاه عقارب الساعة أم في عكس اتجاه عقارب الساعة؟



صُنِعت كرة مطاطية مرنة ضخمة الحجم من مادة قائمة على البولي بوتاديين تُعرف باسم «زكترون»؛ من أجل مناسبة خاصة في ملبورن، أستراليا. وبعد إلقائها من الطابق الثالث والعشرين لأحد الفنادق، ارتدَّت الكرة حتى الطابق الخامس عشر، ثم هبطت مجدَّدًا وسحقت سيارة رياضية مكشوفة متوقِّفة.

## (٤) الضغط والشد

الهيكل المبيَّن بالشكل هو برج مبنيٌّ وَفقًا لمبدأ الضغط والشد؛ فهو مكوَّن من أعمدة واقعة تحت ضغط، وأسلاك متأثِّرة بقوة الشد فقط. لا تلمس الأعمدة المصمَتة الأعمدة الأخرى، لكن الأسلاك تربط أطراف الأعمدة الملائمة. كيف يدعم هذا البناء نفسه؟



هذا الأحمق [كوبرنيكوس] يرغب في قَلْب عِلم الفلك بالكامل رأسًا على عقب، لكن الكتاب المقدَّس يخبرنا أن يوشع أمر الشمس بالتوقُّف، لا الأرض.

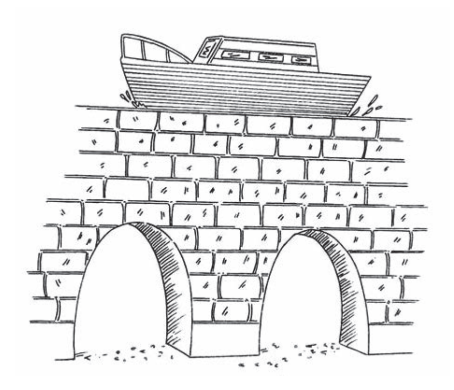
مارتن لوثر

## (٥) السَّحْق العمودي

أغلب قوالب الطوب المستخدَمة في المباني لها كثافة قَدْرها نحو ١٢٠ رطلًا لكل قدم مربعة (١٩٢٦ نيوتن/متر مكعب)، وقوة سَحْق لا تقلُّ عن ٦ آلاف رطل لكل بوصة مربعة (٤٠ ألف نيوتن/متر مربع). نتيجة لقوة السَّحْق العالية، من الممكن بناء مبنًى من الطوب يبلغ ارتفاعه ٧ آلاف قدم (نحو كيلومترين) بحيث يتحمَّل هذا الحمل! لكن على أرض الواقع نجد أن المباني المبنيَّة من الطوب أقصر كثيرًا من هذا، ونادرًا ما تدعم أحمالًا تزيد عن ٣ بالمائة من هذا الوزن الساحق. ومع هذا فقد انهارت بعض هذه المباني القصيرة، حتى في وجود مُعامِل أمان كبير مثل هذا. ما الذي يحدث عادةً؟

## (٦) قارب في قناة مرتفعة

في أجزاء كثيرة من العالَم نرى قنوات معلَّقة على صورة جسور فوق أراضٍ منخفضة. هل يتغيَّر صافي الحِمل على الجسر عند عبور قارب فوق الجزء المعلَّق من القناة؟



الهندسة أشبه بالثقب الأسود؛ فهي تسحقك سحقًا أثناء ابتلاعها إياك.

كيرت هيبتنج

## (٧) طاقة مضاعَفة

لدينا قطعتا خيطٍ متماثلتان، باستثناء أن إحداهما طولها ضِعف طول الأخرى. كل قطعة خيط مربوطة بمصدر دعم ثابت عند أحد طرفيها، ومشدودة بإحكام، ومعرَّضة لنفس الجَذْبة المفاجئة عند طرفها غير المربوط. ما الذي تتوقَّع حدوثه؟

> [ما القوس إلا] شيئان ضعيفان يصبحان شيئًا قويًّا باتحادهما معًا.
>
> ليوناردو دافنشي

## (٨) مرساة القارب

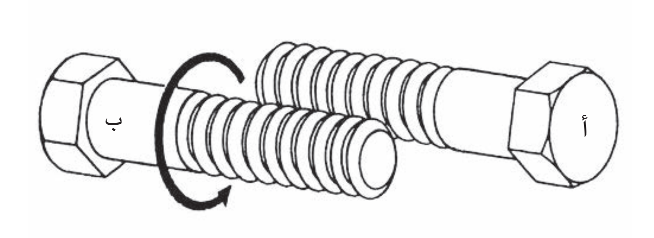
قد تكون مرساة القارب عبارة عن كلَّاب ضخم مثبَّت إلى القارب بواسطة سلسلة معدنية قوية.

ومع ذلك، تنقطع سلاسل المراسي، خاصة على يد البحارة غير المحنكين. فما الذي يحدث عادةً؟

> إليك بطريقة تعرف بها الطول الذي سيكون عليه طفلك مستقبلًا: بالنسبة إلى البنات، خُذْ طول الأب واطرح منه خمس بوصات، ثم أَضِفْ إلى هذا الرقم طول الأم واقسم الناتج على اثنين. بالنسبة إلى البنين، خُذْ طول الأم وأضف إليه خمس بوصات، ثم أضف إلى هذا الرقم طول الأب واقسم الناتج على اثنين. هذه المعادلة تعمل على أفضل نحو حين يكون الوالدان كلاهما إما قصيرين أو طويلين أو متوسطَي الطول بالنسبة إلى نوعَيْهما.

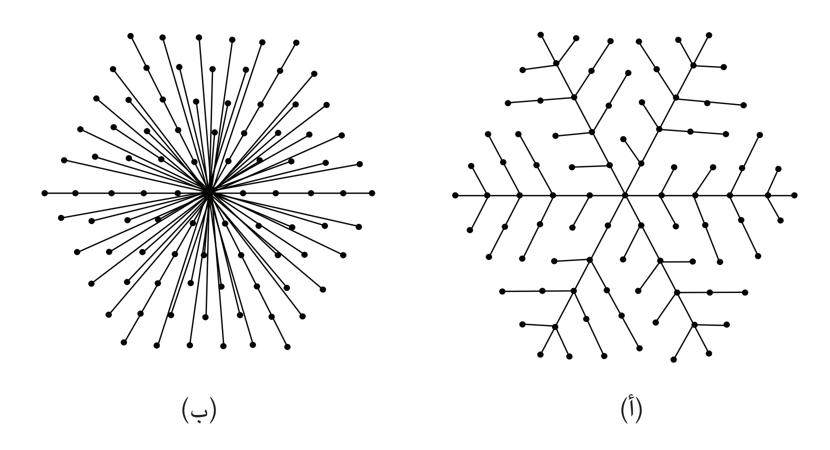
## (٩) مسماران مُلَولَبان

يُظهِر الشكل المبيَّن مسمارين ملولبين متماثلين مثبَّتين معًا، بحيث تُعشَّق أسنان لولبيهما. بينما تُمسِك المسمار (أ) في ثبات، أدِرِ المسمار (ب) حوله، بشرط ألا تدع المسمار يلفُّ حول نفسه بين أصابعك. هل سيقترب رأسَا المسمارين أحدهما من الآخر أم يبتعدان، أم يظلان على المسافة عينها؟




## (١٠) تفرُّع الأشجار

على الشجرة أن تنقل المغذِّيات من الجذع المركزي إلى الأوراق الواقعة في أقصى الأطراف على امتداد مسار مباشر نسبيًّا. لماذا إذن لا تمدُّ الأشجار كل ورقة من أوراقها بالمغذِّيات بفرع منفصل؟ بعبارة أخرى: لماذا يعدُّ نمطُ التفرُّع المبيَّن في الشكل (أ) أكثر شيوعًا بكثير في الطبيعة من النمط الانفجاري المبيَّن في الشكل (ب)؟



(ب) (أ)

> الحركة كلها تميل إلى الاستمرار؛ بمعنى أن كل الأجسام المتحرِّكة تواصل تحرُّكها ما دام تأثير القوة التي بذلها محركها (القوة الدافعة الأصلية) موجودًا فيها.
>
> ليوناردو دافنشي

## (١١) رياح الأعاصير

القوة المؤثِّرة على منزل بواسطة رياح إعصار سرعتها ١٢٠ ميلًا في الساعة تعادل نحو ضعفَي قوة عاصفة سرعةُ الرياح بها ستون ميلًا في الساعة. أهذا صحيح؟

> نشر كبلر قوانينه [الخاصة بحركة الكواكب] في عام ١٦١٨م، بعد ثلاثمائة عام من تخمين جوتو [رسام] أن مفتاح التمثيل الدقيق للطبيعة هو المقطع المخروطي.
>
> ليونارد شلين

## (١٢) مهندس مدني

في حفل مقام عشية العام الجديد، كانت عاصفة تضرب بكل قوتها خارج المنزل، وحينها قال مهندس مدني بين الحضور: «هذا المنزل بُني مع مراعاة معيار الصلابة، لا قوة التحمُّل!» هل على مالك المنزل أن يقلق؟

> الحرير الموجود في الحبل الذي يتعلَّق به العنكبوت أقوى — أوقية مقابل أوقية — خمسَ مرات من الصلب، وأكثرُ قدرة على مقاوَمة الصدمات بخمس مرات من الكيفلار.

## (١٣) صلابة الشرايين

سمعنا كلنا أشخاصًا يشكُون من أن مفاصلهم متصلِّبة؛ خاصة في اليوم التالي على يوم شاقٍّ من التدريبات الرياضية. لكن ما نعجز عن الإحساس به طوال الوقت وفي كل الشرائح العُمْرية هو صلابة شراييننا، رغم أن الشرايين أكثر صلابة بكثير من غيرها من المواد الحيوية في الجسم البشري. لماذا يجب أن تكون جدران الشرايين بهذه الصلابة؟

وكي نوضِّح ما نعني بالصلابة هنا سنورِد بعض الأمثلة. أغلب المواد الهندسية تتمدَّد لأقل من ١ بالمائة من طولها، وأغلب معادن البناء تتمدَّد لأقل من ٠٫١ بالمائة من طولها. وهذه المواد تُعرَف بالمواد الصلبة. على النقيض، العديد من المواد الحيوية يمكنها التمدُّد من ٥٠ إلى ١٠٠ بالمائة من طولها، على غرار غشاء المثانة لدى الشباب.

> لا أشعر أنني مجبر على الإيمان بأن نفس الإله الذي وهبنا العقل والمنطق والتفكير قد تعمَّد أن يجعلنا نمتنع عن استخدامها.
>
> جاليليو

## (١٤) قوس الرماية

التعليمات المصاحِبة لقوس الرماية تذكِّر الرامي عادةً بألا يشدَّ القوس ويتركه دون أن يكون هناك سهم موضوع فيه. لماذا؟

> لا أحد آخر أعرفه يمكنه أن ينسخ عشرة أرقام على نحوٍ خاطئ، ثم يضيفها على نحو خاطئ، ثم يخرج بالنتيجة الصحيحة.
>
> لورد باودن معلِّقًا على لورد رذرفورد

## (١٥) لغز النقانق

يمكن أن ينفجر غشاء النقانق أثناء التحمير إذا كان الضغط داخله كبيرًا بما يكفي. في أي اتجاه من المرجَّح أن ينفجر الجلد، طوليًّا على امتداد النقانق، أم عرضيًّا بعرض النقانق؟

## (١٦) سيارتِي صندوق من الصلب!

عمليًّا، كل السيارات اليوم لها بدن أساسي هو في حقيقته عبارة عن صندوق من الصلب. منذ عقود مضت، كان البدن يُصنع بصورة مختلفة؛ لأن الألواح كانت تُثبَّت على إطار كان يُثبَّت بدوره على هيكل معدني على شكل حرف X أو H. مع تجاهل الفارق في التكاليف، ما سبب هذا التحول المتعمد إلى استخدام الصندوق الصلب في تصنيع السيارات الحديثة؟

> المقصد من وراء «الروح القدس» هو تعريفنا بكيفية سير الأمور في السماء، وليس بالكيفية التي تسير السماء بها.
>
> جاليليو (مقتبِسًا كلمات الكاردينال بارونيوس)

## (١٧) هيكل البالون

بعض الاستادات المغطَّاة لها سقف أشبه بالفقَّاعة مصنوع من نسيج يجب رفعه بواسطة ضغط الهواء. وفي الطقس المطير أو البارد يمكننا أيضًا أن نرى ملاعب التنس وحمَّامات السباحة وهي مغطَّاة بأسقف نسيجية مماثِلة شبيهة بالفقَّاعة. كيف يكون باستطاعة بضع مراوح أن تُبقي على هذه الفقاعات منتفخة على نحو ملائم؟

> لا يوجد في أي موضع من كتاب «المبادئ» (لنيوتن) أدنى إشارة ولو من بعيد لبرهان صحيح على أن الجسم الخاضع لقوة التربيع العكسي يجب أن يتحرَّك في مدار قَطْع مخروطي.
>
> روبرت وينستوك

## (١٨) الجمالون المفتوح*

لماذا يتألَّف الجمالون المفتوح الثلاثي الأبعاد من أشكال هرمية رباعية الأسطح، تفوق قوتها وزنها؟

## (١٩) البراغيث المتقافزة*

تستطيع البراغيث القفز حتى ارتفاع ٣٣ سنتيمترًا — أي أكثر من قدم واحدة، أو مائة مرة قدر ارتفاعها! — مولِّدة عجلة مقدارها $140g$. إذا استطاع بشريٌّ القيام بالأمر عينه نسبةً إلى ارتفاع جسده، فسيكون بمقدوره القفز فوق مبنًى مكوَّن من خمسين طابقًا. لماذا نعجز عن هذا؟

> المشكلات المهمة التي تواجهنا لا يمكن حلُّها على نفس مستوى التفكير الذي كنا عليه حين أوجدناها.
>
> ألبرت أينشتاين

## (٢٠) نِسَب أحجام الحيوانات*

عند زيادة نِسَب أحجام الحيوانات أو تقليلها، يزيد الوزن بمقدار يعادل مكعب الأبعاد الخطية؛ بحيث إن مضاعفة طول الحيوان وعرضه وارتفاعه سيجعل وزنه يزيد بمقدار ثمانية أضعاف. تزداد قوة العظام وقوة العضلات بمقدار يعادل الزيادة في المقطع العرضي؛ بمعنى أنها تعادِل ضِعف البُعد الخطي. ومن ثم، فإن الحيوان «المضاعَف» من شأنه أن يتمتع بعظام وعضلات أقوى بمقدار أربع مرات كي تحمل وزنه المضاعَف بمقدار ثماني مرات.

لكن الطبيعة ماهرة للغاية، ولا تصمِّم حيوانات معيبة عاجزة عن أن تحمل نفسها! ما الحجم الذي ينبغي أن تكون عليه عظام الساق كي تدعم ثمانية أضعاف الوزن الأصلي؟ وما الذي ينبغي أن يحدث للأضلاع والفقرات؟

> توفي جاليليو في الثامن من يناير عام ١٦٤٢م في إيطاليا. كان ذلك التاريخ يوافق وقتها عام ١٦٤١م في إنجلترا. وُلد نيوتن في الخامس والعشرين من ديسمبر عام ١٦٤٢م في إنجلترا، وكان ذلك التاريخ يوافق وقتها عام ١٦٤٣م في إيطاليا؛ وسبب هذا الاختلاف هو الاختلاف في تبنِّي إصلاح التقويم الجريجوري، علاوةً على التواريخ المختلفة لبداية الأعوام. وَفق التقويم الموحد، تُوُفي جاليليو في الثامن من يناير عام ١٦٤٢م، ووُلِد نيوتن في الرابع من يناير عام ١٦٤٣م.
>
> ستانلي إي باب الابن

## (٢١) سُلَّمٌ لا نهائي*

تُرَصُّ قوالب من الطوب بحيث يَبرُز كل قالب عما تحته دون أن يسقط مِن عليه. هل يمكن للقالب العلوي أن يبرز بعد نهاية القالب السفلي بمسافة تزيد عن طوله؟

## (٢٢) حبل راعي البقر*

كيف يستطيع راعي البقر الإبقاء على دوران أنشوطة الحبل؟ هل هناك حدٌّ أدنى لسرعة الدوران؟

كثيرًا ما كان مارك توين يقول: «لقد وُلِدْت مع مذنَّب، وسأموت مع مذنَّب.» وهو ما حدث فعلًا! فقد وُلد عام ١٨٣٥م، خلال فترة ظهور المذنَّب هالي، وتُوفي عام ١٩١٠م، خلال فترة الظهور التالية للمذنَّب نفسه.

الفصل التاسع

# وسائل النقل

تمنحنا وسائل النقل فرصة استخدام المفاهيم التي قابلناها في الفصلين السابقين عن الميكانيكا والهياكل في تحديات تَعِد بتحسين فَهْمنا للماكينات التي صنعتها يد البشر. ومن الأشياء التي نتدبرها في هذا الفصل عربات الأطفال والدرَّاجات والسيارات وغيرها من وسائل النقل. وسيلعب كلٌّ من الاحتكاك الساكن والاحتكاك الحركي واحتكاك التدحرج أدوارًا مهمة مختلفة في العديد من هذه التحديات؛ لذا عليك بتوخي الحذر. فعلى أي حال، تُدرك المركبات الفارق بين هذه الأنواع!

## (١) عربة الأطفال

هل عربة الأطفال التي يبلغ ارتفاع عجلاتها قدمين أيسر في الدفع من العربة التي يبلغ ارتفاع عجلاتها قدمًا واحدةً؟

> لماذا نجد أن المصعد الأول يتجه دومًا في الاتجاه الخاطئ؟ إذا كنت في طابق منخفض، فالأرجح أنك ترغب في الصعود لطابق أعلى؛ لأن عدد الوجهات الممكنة فوقك يزيد عن عددها أدناك. ومع ذلك، هناك على الأرجح أيضًا المزيد من المصاعد فوقك مقارنةً بعددها أدناك، وهو ما يعني أنه عندما تصلك هذه المصاعد، فإنها ستكون في طريقها إلى الأسفل.

## (٢) الدرَّاج الساقط

تخيَّل أنك تركب درَّاجة على مسار مستقيم، وفجأةً تجد نفسك — بفعل جزء غير ممهَّد بالطريق أو هبَّة رياح — تميل إلى أحد الجانبين. سيحاول الدرَّاج المبتدئ غريزيًّا توجيه

المقود إلى الناحية الأخرى، لكن سريعًا ما سيسقط ويصاب بسحجات نتيجة رد فعله هذا. على النقيض من ذلك، سيوجِّه الدرَّاج المحترف المقود في نفس اتجاه السقوط. فلماذا؟

> غياب الدليل ليس دليلًا على الغياب.
>
> مجهول

## (٣) التوقُّفات المفاجئة

في السيارات، المكابح الأمامية تكون إما مكابح أسطوانية أكبر من الموجودة بالعجلتين الخلفيَّتين، أو تكون مكابح قُرصية. المكابح القرصية لا تسخَن بسهولة مثل المكابح الأسطوانية؛ لأنها معرَّضة لتيار الهواء. ولهذا السبب، تكون المكابح القُرْصية أكثر جدارةً بالثقة عند التوقُّفات المفاجئة؛ لأن مادة المكابح المتصلة تكون محتفظة بمعظم خصائص الاحتكاك الانزلاقي الخاصة بها. لماذا هذا الاعتماد الكبير على المكابح الأمامية؟

> ما الكون إلا أصغر حفرة يستطيع الإنسان أن يخفي رأسه فيها.
>
> جي كيه تشسترتون

## (٤) المكابح

ماريكا تقود سيارتها على طريقٍ مستوٍ، ثم تضع عصا ناقل الحركة في وضع اللاتعشيق، وتترك السيارة تسير في تباطؤ دون الضغط على دوَّاسة البنزين. في اللحظة التي تصل فيها السرعة إلى صفر، تضغط ماريكا المكابح على نحو مباغت. ما الذي ستشعر به؟ إذا كانت ماريكا تقود السيارة صاعدة طريقًا منحدرًا انحدارًا بسيطًا، ووضعت عصا نقل الحركة في وضع اللاتعشيق، وتركت السيارة تسير في تباطؤ دون الضغط على دوَّاسة البنزين، ثم ضغطت المكابح في اللحظة التي وصلت فيها السرعة إلى صفر، فما الذي ستشعر به؟ وهل الحالتان متماثلتان؟

## (٥) مفاجأة

تخيَّل أنَّ لديك سيارتين مصغَّرتين متماثلتين؛ واحدة سوداء والأخرى بيضاء، وكلٌّ منهما بها أربع عجلات تدور على نحو مستقل. بعد ذلك تقوم بمنع العجلتين الأماميتين للسيارة البيضاء والعجلتين الخلفيتين للسيارة السوداء من الدوران عن طريق حشر قطعة ورق مطوية بين العجلات وجسم السيارة. بعد ذلك تقوم بترك السيارتين من على قمة لوح منحدر زلق، بحيث تشير مقدِّمة كل سيارة منهما إلى الأسفل. ما الذي تتوقَّع حدوثه؟

> كان لويس الرابع عشر يأخذ الالتزامات التي كان يمليها لقبه الكوني [ملك الشمس] عليه بجدية. فقد أسَّس مرصَدًا مَلَكيًّا في باريس، وفيه اكتشف مدير المرصد، جان دومينيك كاسيني، أربعة أقمار لزُحَل أسماها، على نحو متوقَّع، على اسم الملك. وبموافقة الملك لويس أرسل كاسيني جان ريشار إلى عاصمة جويانا الفرنسية، الواقعة على دائرة عرض ٥ شمالًا؛ حيث وجد أن البندول يتأرجح هناك على نحوٍ أبطأ ممَّا يتأرجح في باريس، الواقعة على دائرة عرض ٤٩ شمالًا، وهو ما أشار إلى أن الجاذبية تقلُّ شدتها قرب خط الاستواء وتزيد عند دوائر العرض الأبعد. وبما أنه كان معروفًا أن الجاذبية تزيد مع اقتراب الجسم من مركز الأرض، ترتَّب على هذا أن الأرض ليست كرة تامة الاستدارة، بل جسم كروي مفلطح.
>
> فنسنت كرونين

## (٦) مكابح المحرِّك

بعض أدلة تشغيل السيارات تنصح السائقين باستخدام محرك السيارة كـ «كابح خامس» عند نزول طريق شديد الانحدار. على أيِّ وضعٍ لناقل الحركة يكون تأثير هذا الكبح في أقوى صُوَرِه؟

> هذه المنظومة الجميلة من الشمس والكواكب والمذنَّبات لا يمكنها أن تنشأ إلا بمشيئة وهيمنة كيان ذكي قهَّار.
>
> إسحاق نيوتن

## (٧) نقل الحركة

القاطرات البخارية والسيارات الكهربائية لا تحتاج أجهزة لنقل الحركة، لكن السيارات المُدارة بواسطة محرِّك احتراق داخلي تحتاج له، فلماذا؟

## (٨) الإطارات المطاطية

الغرض من الحزوز الموجودة على الإطارات المطاطية للسيارات هو زيادة تشبُّثها بالطريق. لو أنك تتفق مع هذه العبارة، تدبَّرْ هذين السؤالين: (١) لماذا تستخدم سيارات السباق إطارات ملساء (ليس عليها أي حزوز)؟ (٢) لماذا تخلو بطانة المكابح من أي حزوز؟

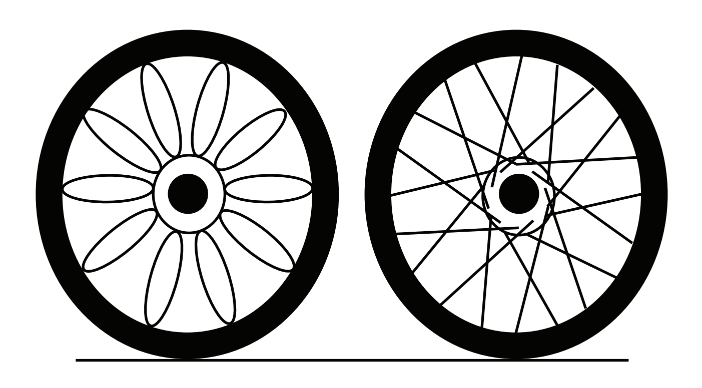
## (٩) الرياح القوية

السيد «س» يقود سيارته بسرعة. تهبُّ رياح قوية من اليسار، لكن لحسن الحظ الطريق جافٌّ؛ لذا لا تواجه السيارة مشكلة في البقاء في حارتها. فجأةً، يبطئ السائق الذي أمام السيد «س» سيارته، مجبِرًا السيد «س» على الضغط على المكابح. يضغط السيد «س» على المكابح بقوة، تتوقَّف العجلات عن الدوران وتنزلق السيارة على الطريق السريع. وعلى نحو غير متوقَّع، تدفع الرياح القوية الآن السيارة بسهولة إلى الحارة المجاورة، كما لو أن الطريق قد تحوَّل إلى جليد زلق. لماذا صارت الرياح بهذه القوة الآن؟

> كانت الطبيعة وقوانينها قابعة في الظلام،
>
> ثم قال الرب: فليكُنْ نيوتن، فَحَلَّ الضوء.
>
> ألكسندر بوب

## (١٠) عجلتان

قارِنْ بين العجلتين الموضَّحتين بالشكل. في عجلة الدرَّاجة البرامق مركَّبة مماسيًّا، أما في عربة كونستوجا فالبرامق مركَّبة شعاعيًّا. لماذا هذا الاختلاف؟



## (١١) متناقِضة نيوتن

هل من الصحيح أنه حين يجذب الحصانُ العربةَ إلى الأمام، فإن العربة بدورها تشدُّ الحصان إلى الخلف بالقوة عينها؟ في لُعبة شدِّ الحبل هذه سيبدو — على الأقل من منظور الحبل الواصل بين الحصان والعربة — أن الحبل يُجذَب من قِبَل قوتين متساويتين من كلا طرفيه. في الواقع، يمكن للمرء أن يبيِّن أن القوتين الموجودتين عند طرفَي الحبل متساويتان ومتضادتان. إذن، من منظور الحبل، القوتان المتضادتان مجموعهما صفر. وبناءً عليه، عند البدء من السكون، لا يمكن أن يَنتُج عن الشد أي حركة. كيف إذن يتمكَّن الحصان البارع من النجاح في شدِّ العربة للأمام من السكون؟

ابدَأْ بمعادلتين معروفتين للحركة المتسارعة بانتظام: $v = at$ و$s = (1/2)at^2$. وبحل المعادلتين من أجل معرفة قيمة العجلة $a$، وجعْل التعبيرين مساويين أحدهما للآخر، ينتج لدينا $v/t = 2s/t^2$. وبتبسيط المعادلة وجعل $v = s/t$ ينتج لدينا الحل $v = 2v$ أو $2 = 1$.

## (١٢) العربات المطيعة

عربات الأمتعة المسحوبة واحدة تلو الأخرى في خطٍّ متصل خلف الجرَّار في المطار تتخذ مسارًا مُقوَّسًا مدهشًا. ما هو مسار كل عربة متعاقِبة؟ ولماذا؟

## (١٣) السُّلَّم المتحرِّك

سؤالنا يتعلَّق بالسُّلَّم المتحرك، سواء من النوع الذي يصعد أو يهبط بين الطوابق المختلفة أو النوع الأفقي الموجود في المطارات. بينما يصعد المزيد من الأشخاص على السُّلم المتحرك، ما الذي تتوقَّع حدوثه بشأن سرعة السلم المتحرِّك؟ وما الذي يحدث بالفعل؟

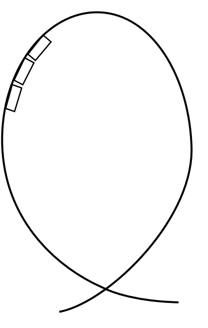
> اسمع، هناك كون رائع للغاية بالخارج: فلنذهب!
>
> إي إي كامينجز

## (١٤) قطار الملاهي

يستمتع ستيفن وأناليس وأنابيل بركوب قطار الملاهي. يفضِّل ستيفن الجلوس في العربة الأمامية، بينما تفضِّل أناليس الجلوس في العربة الموجودة في منتصف القطار، أما أنابيل فتفضِّل الركوب في العربة الأخيرة. بينما يرتقي قطار الملاهي التلَّ الأول ويجتازه، لماذا يكون الشعور بالتجربة مختلفًا بالنسبة إلى كل راكب من الثلاثة؟

## (١٥) حلقة على شكل قَطْرة متدلية

لماذا لا تكون المسارات الحلقية لقطارات الملاهي دائرية، وإنما على شكل قطرة متدلية؟



حلقة على شكل قطرة متدلية

> أنت وأنا استثناءان لقوانين الطبيعة؛ ارتفعتَ أنت عاليًا بواسطة جاذبيتك، أما أنا فقد غرقتُ بفضل رعونتي.
>
> سيدني سميث

## (١٦) اجتياز المنعطفات

بينما تجتاز سيارةٌ أحدَ المنعطفات، تقطع العجلتان الأماميتان قوسين مختلفين في نصف القطر، والأمر عينه ينطبق على العجلتين الخلفيَّتين. كيف تتمكَّن السيارة تحديدًا من تحقيق هذا الأمر؟ وهل تنزلق أيٌّ من العجلات؟

## (١٧) السيارة القوية

إن محرِّكًا بقدرة ٢٠ حصانًا أو أقل هو كل ما نحتاجه لتسيير سيارة بسرعة ثابتة قدرها ٥٠ ميلًا في الساعة. لماذا إذن نصنع سيارات بقدرة ١٠٠ أو ٢٠٠ حصان أو أكثر؟

> قال رجلٌ للكون: «سيدي، أنا موجود.»
>
> فردَّ الكون: «لكن، هذه الحقيقة لم تَغرس داخلي إحساسًا بالالتزام نحوك.»
>
> ستيفن كرين

## (١٨) سيارات الجرِّ الأمامي

لماذا تحقِّق سيارات الجرِّ الأمامي نجاحًا كبيرًا على الشوارع المغطاة بالثلج مقارنةً بسيارات الدفع الخلفي؟ ما الذي يمكننا عمله من أجل تحسين قوة سحب شاحنة خفيفة ذات دفع خلفي؟

> أعلم أن هذا يخالف قانون الجاذبية، لكن كما تعلم، لم يسبق لي أن درست القانون من قبلُ قط.
>
> الشخصية الكارتونية باجز باني

## (١٩) المتنزِّهون

يقوم ديفيد وريتشارد وبول كل أسبوع تقريبًا بنزهات تمشية طويلة. وعند حزم الحقائب فإنهم يضعون الأشياء الأثقل والأكثر كثافة قُرْب القمة، والأشياء الأخف والأقل كثافة قُرب القاع. هل لهذا النظام معنًى من الناحية العلمية؟ أو التشريحية؟

> لا يستطيع العِلم حلَّ اللغز الأعظم للطبيعة؛ وسبب هذا هو أننا في نهاية المطاف جزء من اللغز الذي نحاول حلَّه.
>
> ماكس بلانك

## (٢٠) أسرع حيوان

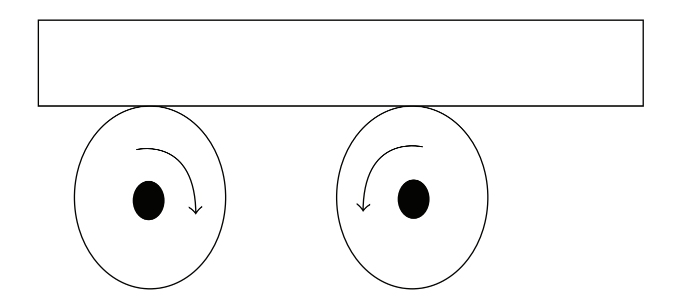
فهدُ الشيتا أسرع حيوان بري؛ فهو قادر على الوصول لسرعة قصوى مقدارها نحو ٧٠ ميلًا في الساعة في دفعات قصيرة تمتد لبضع ثوانٍ، وربما يحافظ على سرعةٍ تزيد عن ٥٠ ميلًا في الساعة لعشر ثوانٍ أو نحو ذلك. الظبي الأمريكي الموجود في سهول كولورادو يملك السرعة ذاتها تقريبًا، وبالتأكيد لديه قدرة تحمُّل أعلى؛ فهو قادر على العَدْو بسرعة ٥٥ ميلًا في الساعة لدقائق عدة، وهو وقت طويل حقًّا. أما الفيل فهو لا يستطيع في الواقع أن يعدو على الإطلاق؛ بمعنى أن يتمكَّن من رفع أقدامه الأربع جميعها من على الأرض في الوقت عينه. كيف تفسِّر الاختلاف في قدرة هذه الحيوانات على العَدْو؟

إن إحساس القلق الذي يُبقي على ساعة الميتافيزيقا التي لا تتوقَّف مطلقًا دائرةً مَنْبَعُه فكرةُ أن عدم الوجود يتساوى في احتماليته مع الوجود.

ويليام جيمس

## (٢١) اللوح المتأرجح

عند وضع لوح على قضيبين دائريَّين على النحو المبيَّن بالشكل، يرى المرء سريعًا أن اللوح يأخذ في التأرجح إلى اليمين وإلى اليسار على نحوٍ متكرِّر. فلماذا لا يندفع اللوح وحسب في أحد الاتجاهين كالقذيفة؟



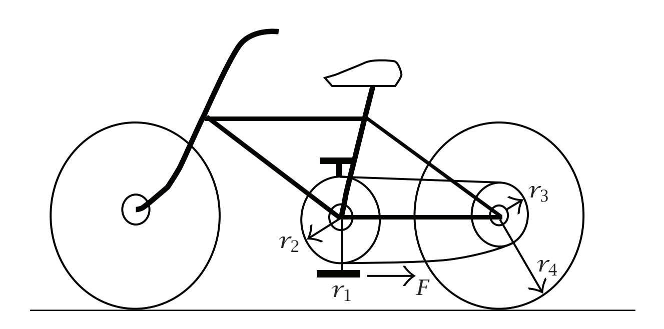
لو أنني أملك قدرةً مُطلَقة وملايين عدة من السنوات كي أجرِّب فيها ما أشاء، لن أفكِّر في التباهي بالإنسان بوصفه النتيجة النهائية لجهودي.

برتراند راسل

## (٢٢) حركة الدرَّاجة*

لدينا درَّاجة مثبَّتة تثبيتًا خفيفًا في وضع معتدل، بحيث تكون الكرنكات (والكرنك هو القضيب الواصل بين البدَّال وصندوق التروس) عموديةً. تُبذَل قوة أفقية إلى الخلف على

البدَّال الأسفل. (أ) في أيِّ اتجاه ستبدأ الدراجة في التحرك؟ (ب) في أي اتجاه ستدور الكَرَنْكات؟




> البحث في المسبِّبات الأصلية أمرٌ لا طائل من ورائه، وشأنه شأن العذراء التي نذرت نفسها للرب، لن يُنتِج شيئًا ذا نفع.
>
> فرانسيس بيكون

## (٢٣) اجتياز المنعطف بالدَّرَّاجة*

حين تميل الدرَّاجة على نحو مفاجئ إلى أحد الجانبين، يخرج الدرَّاج من هذا المأزق بأن يوجِّه المقود في اتجاه السقوط. على النقيض من ذلك، عندما يكون الدرَّاج على وشْك اجتياز منعطف، فإنه قبل أن يصل إلى المنعطف مباشرةً يوجِّه العجلة الأمامية في الاتجاه المعاكس، فلماذا؟

> أثناء غيابي، استبدل أحدهم بأثاثي كله نسخة أخرى طبق الأصل منه، وحين أخبرت شريكي في الغرفة بهذا ردَّ قائلًا: «هل أعرفك؟»
>
> ستيفن رايت

## (٢٤) سائقو السباقات*

سائقو السباقات المحترفون يزيدون سرعة سياراتهم عند اجتياز المنعطفات، لماذا؟

> لماذا تحتاجون أنتم — معشر الفيزيائيين — هذه المعَدَّات الباهظة الثمن للغاية؟ إن قسم الرياضيات لا يطلب شيئًا سوى ثمن الأوراق وأقلام الرصاص وسلال المهملات، بل إن قسم الفلسفة أفضل من هذا؛ فهو لا يطلب حتى سلالًا كي تُلقى فيها الأوراق المهملة.
>
> رئيس جامعة مجهول

## (٢٥) الجدار*

أنت تقود بسرعة كبيرة على طريق ينتهي بتقاطع على شكل حرف T مع طريق سريع. هناك جدار من الطوب أمامك مباشرةً على الجانب البعيد للطريق السريع، ولا توجد أي سيارة في مجال رؤيتك في أيٍّ من الاتجاهين. ما الذي عليك فعله كي تتجنَّب الاصطدام بالجدار؛ تقود سيارتك بشكل مباشر نحو الجدار ثم تضغط على المكابح، أم تدور إلى اليسار في قوس دائري بينما تدخل إلى الطريق السريع؟

> في مسألة العلم، سلطة ألف شخص لا تساوي شيئًا أمام التفكير المنطقي المتواضع لفرد واحد.
>
> جاليليو

الفصل العاشر

# الرياضة

أغلب الرياضات تجمع قواعد الحركة مع قواعد الفيزياء الحيوية للجسم البشري؛ ولهذا، هناك حدود مفروضة على كل فرد منَّا منبعُهَا كلٌّ من قوانين الفيزياء وتصميمنا الفسيولوجي. تتناسب قوة العضلات طرديًّا مع مساحة المقطع العرضي لها، لكن التمتع بعضلات ضخمة دون امتلاك مهارات ملائمة لن يؤدي إلى أداء عالمي. ومع الممارسة والتدريب يمكننا زيادة قدراتنا للوصول إلى الأداء الأقصى. فلتدَعْ عقلك يتدبَّر هذه التحديات، التي ستبيِّن لك إلى أي مدًى يمكن للأداء البشري أن يكون استثنائيًّا.

## (١) قوة المرأة

بمقارنة النساء بالرجال من حيث وزن الجسم الصافي، نجد أن النساء أقوى من الرجال. هل هذه العبارة صحيحة أم خاطئة؟

> يترك العلماء اكتشافاتهم وهي في مهدها كالأطفال اللُّقطاء على عتبة باب المجتمع، ولا يعلم آباؤهم بالتبنِّي كيف يربُّونهم.
>
> ألكسندر كالدر

## (٢) التعلُّق في الهواء!

لاعبو كرة السلة العِظام القادرون على عمل قفزات عظيمة يبدون أحيانًا وكأنهم يتعلَّقون في الهواء متمتعين بتحكُّم استثنائي في الجسد قبل أن يسدِّدوا تصويباتهم الرائعة. لكن هذا التأثير يبدو أكثر إذهالًا على مسرح الباليه؛ حيث يشاهد المرء الراقصات وهن يتمتعن بقدرةٍ رائعة على القفز دون بذل جهد تقريبًا ممزوجةٍ بتحكُّم ورشاقة استثنائيين في الجسد. تبدو راقصات الباليه وكأنهن قادرات على تعليق أجسامهن بإرادتهن في الهواء لبضع ثوانٍ. هل يستطيع الرياضي حقًّا أن «يتعلَّق في الهواء»؟

**تعالَ هنا أيها القط!**

أضاف جيه إتش هيذرينجتون الاسم المستعار لقطِّه الأليف، إف دي سي ويلارد (فيلكس دومستيكوس تشستر ويلارد)،[١] بوصفه مؤلِّفًا مشارِكًا ومعاوِنًا له، كانت مشاركاته في أبحاثه غير مباشرة إلى حدٍّ ما.

[١] جيه إتش هيذرينجتون وإف دي سي ويلارد، «تأثيرات تبادل الذرات الثنائية والثلاثية والرباعية في $^3$He bbc» مراسلات الفيزياء المنقَّحة، ٣٥، ١٤٤٢–١٤٤٤ (١٩٧٥م).

## (٣) أحذية العَدْو الجيدة

في السنواتِ الخمس عشرةَ الأخيرة صارت تشكيلة عظيمة من أحذية العَدْو متاحة، بعضها به جيوب هوائية ودعامات من الفوم، وبعضها له لسان. هل معظم ملامح تصميم الأحذية مجرد مبالغات تجارية، أم هل ثمة مبادئ حقيقية للفيزياء الحيوية كامنة خلف أحذية العَدْو المتاحة حاليًّا؟

يحدِّد روبرت أدير في كتابه «فيزياء البيسبول» الظروف التي من شأنها أن تغيِّر مسار الضربة الساحقة البالغ طولها ٤٠٠ قدم إلى نقطة المنتصف كالتالي:

- أيُّ زيادة مقدارها ١٠٠٠ قدم في الارتفاع تضيف ٧ أقدام للضربة.
- أيُّ زيادة مقدارها ١٠ درجات في درجة حرارة الهواء أو الكرة تدفعها مسافة ٤ أقدام إضافية.

- حين تكون الرياح المواتية سرعتها ٥ أميال في الساعة فهذا سيضيف ١٥ قدمًا للكرة.
- الرمية التي تكون أسرع بخمسة أميال في الساعة تنتهي على مسافة ٣ أقدام ونصف القدم لمسافة أبعد من لوحة الضارب.

## (٤) سباقات العَدْو القصيرة

في سباقات العَدْو القصيرة، لمسافة مائة متر أو أقل، لماذا لا يُعد التنفس خلال السباق ضروريًّا؟

**قانون سميث للقصور الذاتي**

الجسم في حالة السكون يميل إلى مشاهدة التلفاز.

## (٥) استراتيجية العَدْو لمسافات طويلة

لماذا يتجنَّب عدَّاءُو سباقات المسافات المتوسطة والطويلة — ١٥٠٠ متر فيما أعلى — العَدْو بأقصى قوتهم في المراحل المبكرة من السباق؟ ألا ينبغي أن يعدو العدَّاء بأقصى سرعته طوال مسافة السباق من أجل تعظيم أدائه بدلًا من زيادة سرعته على نحو مفاجئ قرب نهاية السباق؟

رغم أن قوة الأوتار تقلُّ عن قوة الفولاذ المطاوع (نحو ٤٥٠ ميجا باسكال)، فإنها أقلُّ منه كثافةً بسبع مرات؛ ومن ثم تُعَدُّ أقوى من هذا الفولاذ عند المقارنة بينهما وزنًا بوزن.

## (٦) تأثيرات الموقع الجغرافي على الأرقام القياسية للقفز العالي

منذ وقت نيوتن ونحن نعرف أن القيمة الفعالة لعجلة الجاذبية $g$ تعتمد على كلٍّ من الارتفاع ودوران الأرض عند أي دائرة عرْض بعينها. في الواقع، ثمة تعبير رياضي معروف جيدًا لحساب $g$ لأي ارتفاع وأي دائرة عرض. لماذا إذن تأخذ اللجنة التي

تؤكد على صحة الأرقام القياسية في ألعاب القوى الموقع الجغرافي في الحسبان، خاصة في منافستَي القفز العالي والقفز الطويل؟

> كي تتحرك إلى الأمام، عليك أن تعرِّض نفسَك إلى عدم الاستقرار.
>
> مجهول

## (٧) حيلة لاعبي القفز العالي

يستخدم لاعبو القفز العالي تقنية «قفزة فوسبري»، ويَلُفُّون أجسامهم بحيث تكون ظهورهم في الاتجاه إلى الأسفل وهم يجتازون القضيب الموضوع على ارتفاع أعلى كثيرًا من ارتفاعهم. لماذا يقوِّسُون أجسامهم بدرجة كبيرة عند ذِروة القفزة؟ ربما تظن أن المجهود الإضافي الذي سيُستخدم وقتها لقلب سيقانهم فوق القضيب كان من الممكن أن يُستخدم في القفز لارتفاع أعلى! هل يمكن لمركز الجاذبية الخاص بلاعب القفز العالي أن يمر من أسفل القضيب؟

> رغم أن مخَّك يؤلِّف نحو ٢ بالمائة فقط من الوزن الإجمالي للجسم، فإنه يستهلك ٢٥ بالمائة من مخزون الدم الإجمالي. وفي الأطفال، أحيانًا ما يستهلك المخ ما يصل إلى ٥٠ بالمائة من مخزون الدم الإجمالي للجسم.

## (٨) القفز بالزانة

في منافسة القفز بالزانة، الهدف هو اجتياز أعلى موضع ممكن للقضيب. الرقم القياسي الحالي للقفز بالزانة يتجاوز العشرين قدمًا. ألا ينبغي للقافزين وحسب أن يختاروا أطول الزانات المصنوعة من أفضل المواد (أي تلك المواد ذات المرونة القصوى) ويباشروا منافسة القفز بالزانة، في ظل تساوي كل العوامل كما في القفزات السابقة؟

> ليس البرهان عن طريق الاستقراء شائعًا قدر شيوع البرهان عن طريق الترهيب.
>
> أوستن ترين

## (٩) كرة السلة

لماذا يكون للدوران الخلفي للكرة أهمية كبيرة عند تصويب كرة السلة؟ فكل لاعب يتدرب على تصويب كرة السلة من أطراف أصابعه مع توجيه دفعة طفيفة من المعصم كي يُضفيَ تلقائيًّا دورانًا خلفيًّا على الكرة.

> كل الفنون والعلوم تنبع من صراعنا ضد الموت.
>
> القديس جريجوري النيسي

## (١٠) حركة مستحيلة!

قرِّر ما إذا كان بوسعك تنفيذ هذه الحركة: واجِهْ حافَة باب مفتوح بحيث تمس أنفك ومعدتك حافة الباب بينما تمتد قدماك للأمام قليلًا متجاوزة إياه. بعد ذلك حاوِلْ أن تقف على أطراف أصابعك. لماذا من المستحيل عمل هذا؟

> اليد البشرية بها اثنا عشر مفصلًا رَزِّيًّا، وخمسة مفاصل عادية، وهو ما يسمح بـ ٢٢ درجة من حرية الحركة.

## (١١) زمن رد الفعل بالمضرب

في لعبة البيسبول، يبدأ الرامي رميته وهو على مسافة ٦٠ قدمًا و٦ بوصات من لوحة الضارب، لكن الكرة تُرمَى من مسافة أقرب بثلاث أقدام. حين تكون سرعة كرة البيسبول

٩٠ ميلًا في الساعة (١٣٢ قدمًا في الثانية) فإنها تصل إلى لوحة الضارب بسرعة كبيرة. متى يجب على معظم الضاربين البدء في تحريك مضاربهم؟

> المصطلح QED هو اختصار لعبارة quod erat demonstrandum باللاتينية؛ وتعني: «وهو المطلوب إثباته»، لكن يمكن أيضًا أن نجعل هذا المصطلح اختصارًا لعبارة quite easily done؛ وتعني: «يمكن تنفيذه بسهولة.»

## (١٢) هل يمكن أن تغيِّر كرات البيسبول اتجاهها فجأةً؟

معظم لاعبي البيسبول المحترفين يؤكدون أنهم رأوا كرة مقذوفة وهي تتحرَّك في خط مستقيم، ثم تنحرف فجأة قُبيل الوصول إلى لوحة الضارب مباشرةً. هل يمكن أن يكون هذا السلوك صحيحًا؟ وكيف ذلك؟

> العلم هو الإيمان بجهل الخبراء.
>
> ريتشارد فاينمان

## (١٣) الكرة المقوَّسة

ما الذي يسبِّب تقوُّس مسار الكرة بعد قذفها؟ في أي اتجاه ستتقوَّس الكرة لو قذفها الرامي بيده اليمنى؟ وماذا لو قذفها بيده اليسرى؟

> التنجيم علم في حد ذاته، وهو يحتوي على مجموعة منيرة من المعارف. فقد علَّمني التنجيم أشياءَ كثيرة، وأنا مَدِين له بالكثير. تكشف الأدلة الجيوفيزيائية عن سلطة النجوم والكواكب على ما هو أرضي. وبالتبعية، يعزِّز التنجيم هذه السلطة بقدرٍ ما. ولهذا السبب فالتنجيم أشبه بإكسير الحياة للجنس البشري.
>
> ألبرت أينشتاين

## (١٤) تخشين كرة البيسبول

ما الذي يجنيه الرامي من وراء تخشين كرة البيسبول؛ أي حك بقعة على سطح الكرة على سطح خشن بغرض تخشينها؟

> فوق السرعة البالغ مقدارها نحو ٢٫٣ متر في الثانية، يستهلك العَدْو طاقة أقل من المشي.

## (١٥) مشاهدة الرمية

بعضٌ مِن أفضل ضاربي لعبة البيسبول يزعمون أنهم قادرون على مشاهدة دوران الكرة من لحظة انطلاقها من يد الرامي إلى اللحظة التي تضرب فيها المضرب. ما رأيك؟

> المجرِّب يرصد ما لا يمكن تفسيره، والمنظِّر يفسِّر ما لا يمكن رصده.
>
> مجهول

## (١٦) المضرب يضرب كرة البيسبول

تعتمد السرعة التي تغادر بها الكرة مضرب البيسبول على موضع الاصطدام بالمضرب. من أجل تحقيق السرعة القصوى للكرة المضروبة، هل الموقع الأفضل هو مركز الاصطدام الخاص بالمضرب؛ أي النقطة على المضرب التي لا تنقل أي زخم من اصطدام الكرة إلى المقبض والعكس؟

> من المقبول أن تتمسَّك بفرضيةٍ ما لبعض الوقت، لكن إياك أن تعتنقها طَوَال الوقت.
>
> مجهول

## (١٧) التنفس تحت الماء

التنفس تحت الماء على عمق يبلغ مترين (نحو ست أقدام وثماني بوصات) يتم عادةً باستخدام معدَّات غوص. لماذا لا يتنفس الغواص ببساطة عبر أنبوب طويل أو أنبوب تنفُّس تتصل نهايته العليا بعوامة على السطح؟

> الارتداد المرِن لحذاء العَدْو يعيد ما بين ٥٤ إلى ٦٦ بالمائة من طاقة الإجهاد؛ وهو معدَّل أقل بفارق كبير من قوس القدم، الذي يعيد ٨٠ بالمائة من الطاقة المخزَّنة به.

## (١٨) الغطس من على منصة القفز

بعد أن يقفز لاعب الغطس من على منصة القفز، هل يمكنه أن يبدأ في الشقلبة واللَّف وهو في الهواء بعد أن يكون قد غادر المنصة بوقت؟ أم هل عليه أن يبدأ حركتَي الشقلبة واللف قبل انتهاء تلامسه مع المنصة؟

> الجسم البشري يفقد نحو رطلين من الخلايا كل يوم (أغلبهما من الجلد وبطانة الأمعاء).

## (١٩) حِيَل القطط

إذا أسقطتَ قطًّا في الوضع المقلوب فوق وسادة طريَّة، فستجد أن القط قد هبط على أقدامه. كيف يمكن لهذا الحيوان أن يحقِّق دورانًا صافيًا في الفضاء دون أن يكون هناك شيء يستند إليه؟

> [ينجح العلم من خلال] تعذيب الطبيعة وانتزاع الإجابات منها.
>
> قول منسوب لفرانسيس بيكون

## (٢٠) حركة رواد الفضاء

هل يستطيع رائد الفضاء عديم الحركة — بمعنى أنه لا يملك زخمًا زاويًّا مبدئيًّا — تعديل موضعه في أي اتجاه يشاء؟

> تستخدم الطبيعة أقلَّ قدرٍ ممكن من أي شيء.
>
> يوهانز كبلر

## (٢١) الشعور بضربة الجولف

بعض لاعبي الجولف المحترفين يَعُون اللحظة التي يضرب بها المضرب كرةَ الجولف من خلال الإحساس الذي يشعرون به في أيديهم. هل يحدث هذا الإحساس أثناء الاتصال بالكرة؟

> حين سُئل إنريكو فيرمي عن الشيء المشترك بين جميع الفيزيائيين الحائزين على جائزة نوبل، ردَّ بعد فترةِ صمتٍ طويلة قائلًا: «لا يسعني التفكير في شيء واحد بعينه، ولا حتى الذكاء.»

## (٢٢) الرقم القياسي للتزلُّج على الجليد

الرقم القياسي المسجَّل للتزلُّج على الجليد هبوطًا للتل أسرع بنحو ٣ أميال في الساعة من سرعة السقوط القصوى لأسفل لنفس الإنسان عبر الهواء؛ أي السرعة الحَدِّية المكتسَبة عبر الهواء أثناء السقوط. ما العملية الفيزيائية المسبِّبة لذلك؟

> القوة القصوى التي تستطيع أي عضلة بشرية بذلها تبلغ نحو ٥٠ رطلًا لكل بوصة مربعة، أو ٣٥ نيوتن لكل سنتيمتر مربع.

## (٢٣) «انحنِ للأمام أيها المتزلِّج!»

لماذا يصيح معلِّمو التزلُّج في المتدرِّبين الجُدد قائلين: «انحنِ للأمام أيها المتزلِّج»؟ فهذا الاتجاه المتوقَّع للجسد غير طبيعي بالنسبة إلى المبتدئين، الذين يحاول معظمهم البقاء منتصبي القامة. هل نصيحة المدربين صحيحة من المنظور الفيزيائي؟

> الموهبة تفعل ما تستطيع فعله،
>
> أما العبقرية فتفعل ما يجب عليها فعله.
>
> مجهول

## (٢٤) الاستعداد للمنحدر أثناء التزلُّج

لماذا يتَّبع المتزلِّجون المحترفون أسلوب «القفزة المسبقة»؟ فقبل الوصول مباشرةً إلى حافة جزء منحدِر بدرجة أكبر من بقية المُنحَدَر، يرتفع المتزلِّج مباشرة من وضع الجثوم ويجذب ساقَيْه إلى الأعلى؛ بحيث يجعل زلاجتَيْه تفارقان الأرض قبل الوصول إلى الجزء الأكثر انحدارًا. هل هناك أي مَزِية من وراء اتباع هذا الأسلوب؟

> احصل على الحقائق أولًا، ثم يمكنك بعد ذلك تشويهها قدر ما تشاء.
>
> مارك توين

> في ظل تساوي ظروف البيئة من حيث الدفء والرطوبة، ستفرز المرأة في المتوسط خلال فترة زمنية مقدارها ٤٠ دقيقة كميةً من العرق تبلغ ٤٠٠ ملِّيجرام، أما الرجل فسيفرز ٦٠٠ ملِّيجرام.

## (٢٥) ركوب الدرَّاجة

لماذا يُعَد ركوب الدرَّاجة لقَطْع مسافةٍ ما أيسرَ مِن عَدْو المسافة عينها؟

التدريب البدني، حين يكون إلزاميًّا، لن يؤذي الجسد، لكن المعرفة المكتسَبة تحت القَسْر لن تبقى مطلقًا داخل العقل.

أفلاطون

## (٢٦) أسراب الطيور

هل هناك أي مَزِية فيزيائية وراء تحليق أسراب الطيور المهاجرة في تشكيل يشبه الحرف V؟

- مركز الجاذبية الخاص بأي شخص واقف في انتصاب يقع على الخط العمودي الذي يمس الأرض على مسافة ٣ سنتيمترات أمام مفصل الكاحل.
- قدرة القلب لدى الشخص العادي في حالة سكون تبلغ نحو ١ واط، وهو أقل من ١ بالمائة من معدل الأيض.
- درجة حرارة جلد الشخص العاري الجالس في غرفة حرارتها ٢٢ درجة مئوية تبلغ في المتوسط نحو ٢٨ درجة مئوية.
- العطسة تخرج من الأنف بسرعة ١٨٠ ميلًا في الساعة.

## (٢٧) التوتر السطحي القاتل

التوتر السطحي هو قوة ملحوظة بالكاد من منظور الحيوانات كبيرة الحجم، إلا أنها قوة قاتلة بالنسبة إلى الحشرات. لماذا؟

كلما أجبنا عن المزيد من الأسئلة، تشكَّكنا في المزيد من الإجابات.

مجهول

ثمة لافتة موضوعة على جدار أحد المختبرات البحثية لطلبة الدراسات العليا تقول: «لا يمكنهم فصلي؛ فالعبيد لا بد أن يُباعوا أولًا.»

## (٢٨) سرعات عَدْو الحيوانات*

سرعة العَدْو القصوى على أرض مستوية لا تربطها علاقة تقريبًا بحجم الحيوان. على سبيل المثال، يستطيع الأرنب العَدْو بسرعة تعادل سرعة الحصان. لكن عند العَدْو على طريق صاعد، تتفوَّق الحيوانات الصغيرة الحجم بسهولة على الحيوانات الأكبر حجمًا. فالكلب يعدو على طريق صاعد بسهولة أكبر من الحصان، الذي عليه أن يبطئ من سرعته. ما التفسير القائم على الأبعاد الذي يتَّفق مع هذه النتائج؟

في غياب أي تنفس ملحوظ، يحدث قدر طفيف من البخر من الجلد والرئتين بالجسم البشري يعادل ٦٠٠ جرامًا من الماء يوميًّا.

## (٢٩) قوانين الطاقة في كل الكائنات*

مقدار الطاقة المطلوب لاستدامة الحياة في كل الكائنات — بمعنى معدَّل الأيض — يتناسب طرديًّا بالتقريب مع كتلة الجسم مرفوعة إلى القوة ٣ / ٤. ألا ينبغي أن تتناسب متطلبات طاقة الكائن تناسبًا طرديًّا مباشرًا من حيث النمو مع كتلة الجسم نفسها، وليس مع قوة كسرية تقل عن الواحد الصحيح؟

أرى أن ورقة العشب لا تقل في روعتها عن النجوم … أما شجرة العُلَّيْق فمن شأنها أن تزيِّن جنبات السماء.

والتر ويتمان

## (٣٠) «البقعة المثالية» في مضرب التنس*

لماذا توجد في مضرب التنس «بقعة مثالية»؟ وأين موضعها؟ هل يمكن أن يملك المضرب أكثر من «بقعة مثالية» واحدة؟

## (٣١) نقرات على كرات الجولف؟*

لماذا توجد نقرات على كرات الجولف؟ ألا يزيد وجودها من الاضطراب الهوائي حول الكرة أثناء وجودها في الهواء؟!

- الرجل الذي يبلغ وزنه ٧٠ كيلوجرامًا (١٥٤ رطلًا) يستهلك في الطبيعي نحو $١٠^{٧}$ جول يوميًّا. ويبلغ متوسط معدل الأيض الخاص به نحو ١٢٠ واط. يهبط معدل الأيض أثناء النوم إلى ٧٥ واط ويرتفع أثناء الاستيقاظ إلى ٢٣٠ واط.
- يستطيع فهد الشيتا التسارع من سرعة صفر إلى ٤٠ ميلًا في الساعة في ثانيتين وحسب.

الفصل الحادي عشر

# كوكب الأرض

كوكب الأرض هو موطننا المذهل. ونحن ننعم بضوء الشمس الذي يمر عبر غلافه الجوي، ونسبح في مياه بحيراته ومحيطاته، ونَكِدُّ في السَّيْر عبر الثلج والرياح الباردة في شتائه، ونرسل الإشارات بعضُنا إلى بعض عبر موجات الراديو في غلافه الجوي، لكن هل نعرف كيف نستخدم الفيزياء في تفسير هذه الظواهر؟ إليك عينة صغيرة من الأسئلة كي تشحذ همتك نحو التعرُّف على صورة أكثر اكتمالًا للكيفية التي تعمل بها هذه المنظومة الديناميكية الموجودة على جزيرتنا الكوكبية داخل الكون. وإذا تعلَّمت كيفية تطبيق العديد من المفاهيم من الفصول السابقة، فمن المفترض أنك على استعداد لمجابهة هذه التحديات.

## (١) كاليفورنيا الباردة

في الولايات المتحدة، تكون مياه ساحل المحيط الهادي أبرد كثيرًا من مياه ساحل المحيط الأطلنطي. ما السبب؟

إدارة خِدمات الوقت التابعة لمرصد البحرية الأمريكية في واشنطن العاصمة تحتفظ بأدق ساعة ذرِّية في الولايات المتحدة. وعن طريق الاتصال بالرقم 900-410-TIME يمكنك سماع إعلان للتوقيت تقع دقته في حدود واحد على عشرة من الثانية. ويستطيع مراقبو الساعات الذين لديهم أجهزة راديو ذات موجات قصيرة أن يضبطوا أجهزتهم على المحطة WWV في فورت كولينز، كولورادو (٢,٥، ٥، ١٠، ١٥ و٢٠ ميجا هرتز)، من أجل سماع الإشارة الزمنية للمكتب الوطني للمعايير.

## (٢) أمواج على الشاطئ

الشخص الواقف عند الشاطئ يرى دائمًا الموجات الكبرى وهي تأتي نحوه مباشرة، بحيث تكون قمم الموجات موازية للشاطئ، رغم أنها على مسافة بعيدة نسبيًّا من الشاطئ تُرى وكأنها تقترب بزاوية. ما الذي يجعل مسار الموجات يستقيم؟

> لقد اكتُشفت بالفعل جميع قوانين وحقائق العلوم الفيزيائية، وهذه القوانين والحقائق راسخة بثبات، لدرجة أن احتمالية أن تحلَّ محلها قوانين أخرى نتيجة اكتشافات جديدة هي احتمالية بعيدة للغاية.
>
> ألبرت ميكلسون (حوالي عام ١٨٩٠م)

## (٣) ألوان المحيط

من طائرة تحلِّق فوق المحيط، تبدو المياه الموجودة بالأسفل مباشرةً أشد قتامة مقارنةً بالمياه الموجودة على امتداد الأفق، فما السبب؟

> نتيجة المعدَّل المتناقص لدوران الأرض حول نفسها، كان القرن العشرون أطول من القرن التاسع عشر بنحو ٢٥ ثانية.

## (٤) ثبات السفينة

نحن نربط في المعتاد بين مركز الجاذبية المنخفض والثبات. ومع ذلك، في حالة السفينة الطافية، يجب أن يكون مركز الجاذبية فوق مركز الطفو (الموضع الذي يمكن اعتبار قوة الطفو إلى أعلى متركِّزة فيه) من أجل ضمان الثبات. فلماذا؟

> إحدى أكثر مناطق كوكب الأرض تعرُّضًا لنشاط العواصف الرعدية هي مدينة جاوة؛ حيث يُسمع الرعد ٢٢٣ يومًا في العام. وفي الولايات المتحدة، تتميَّز منطقة وسط فلوريدا بأعلى عدد للأيام التي

تشهد عواصف رعدية؛ وهو ٩٠ يومًا في العام. أما أقل عدد فيوجد على امتداد منطقة ساحل المحيط الهادي شمالي كاليفورنيا، وأوريجون، وواشنطن؛ حيث يندر وجود الرعد والبرق.

مارتن إيه أومان

## (٥) السفن الأطول تتحرَّك بسرعة أكبر

تبلغ السرعة (سرعة «البدن») القصوى للسفينة البالغ طولها ١٠٠ متر نحو ٢٨ ميلًا في الساعة، بينما يكون من الصعب لسفينة طولها عشرة أمتار أن تتجاوز ثمانية أميال في الساعة. أما البطة (فكِّر فيها بوصفها سفينة قصيرة للغاية!) فيمكنها في الواقع أن تسبح تحت السطح بسرعة تزيد كثيرًا عن سرعتها على السطح. لماذا تستطيع السُّفن الأطول التحرُّك بسرعة أكبر؟

لا حاجة بالجمهورية لرجال العلم.

جان بول مارات (بمناسبة إدانة الكيميائي لافوازييه والحكم عليه بالإعدام بالمقصلة)

## (٦) الجليد القطبي

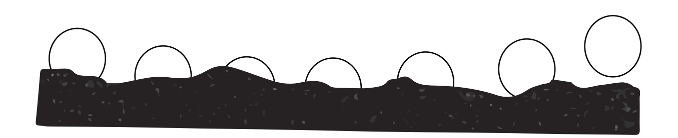
ما السبب وراء أن الجليد الموجود في القارة القطبية الجنوبية يبلغ مقداره ثماني مرات مقدار الجليد الموجود في المنطقة القطبية الشمالية؟

لا تسْعَ إلى السير على خُطى القدماء، بل اسعَ خلف ما سعوا إليه.

ماتسو باشو

## (٧) شمس القطب الشمالي

الشكل المبيَّن يوضِّح المواضع المتعاقِبة للشمس خلال فترة مقدارها بضع ساعات، كما رُصدت في ألاسكا. هل يمكنك أن تحدِّد بالتقريب اتجاه البوصلة الذي كان الراصد يواجهه؟ بالتقريب، في أي وقت من النهار أو الليل رُصد أقل ارتفاع للشمس؟



في المعتاد لا يُسمع الرعد إذا كان البرق المسبِّب له يقع على مسافة تزيد عن ١٥ ميلًا.

## (٨) السَّيْر في دوائر بالقرب من القطبين

يُقال إن المستكشفين المفقودين لديهم ميل قوي للسير في دوائر إلى اليمين قُرب القطب الشمالي وإلى اليسار قرب القطب الجنوبي. هل يمكنك التفكير في تفسير محتمَل لذلك؟

تتحرَّك لوس أنجلوس مقتربةً من سان فرانسيسكو بالمعدل ذاته الذي تنمو به الأظفار.

## (٩) توقعات الطقس

هل تتفق وتوقعاتِ الطقس المرتجَلة هذه؟ وإذا كنتَ تتفق معها، فما الأساس العلمي وراءها؟

(١) من المرجَّح أن تؤلمك مفاصلك قبل العاصفة المطيرة.
(٢) تنقنق الضفادع بصورة أكبر قبل أي عاصفة.
(٣) إذا كشفت أوراق الشجر عن جوانبها السفلية، فهطول المطر وشيك.

(٤) وجود حلقة حول القمر يعني سقوط المطر لو أن الطقس كان صافيًا.
(٥) الطيور والوطاويط تطير على ارتفاع منخفض قبل هبوب العاصفة.
(٦) يمكنك تحديد درجة الحرارة من خلال الاستماع إلى صرصور الليل.
(٧) الحبال تنكمش قبل هبوب العاصفة.
(٨) الأسماك تخرج إلى سطح الماء قبل هبوب العاصفة.
(٩) أسلاك الهاتف تصدر صريرًا يشير إلى حدوث تغير في الطقس.

قبل أن تطفو سفينة وزنها ألف طن، على أحدهم أن يزيح ألف طن من الماء. وهذه وظيفة قبطان السفينة.

من كتاب آرت لينكليتر بعنوان «حديقة المعلومات المغلوطة للأطفال»

## (١٠) اتجاهات الرياح

تهبُّ الرياح على الأرض من مناطق الضغط المرتفع مباشرة إلى مناطق الضغط المنخفض. أهذه العبارة صحيحة أم خاطئة؟

أعلى موجة مسجَّلة رسميًّا بلغ ارتفاعها ١١٢ قدمًا من القمة إلى القاع، وقد قيست هذه الموجة خلال إعصار بلغت سرعته ٦٨ عقدة بواسطة الملازم فريدريك مارجراف (بالبحرية الأمريكية) مِنْ على متن السفينة يو إس إس رامابو خلال الإبحار من مانيلا، الفلبين، إلى سان دييجو، كاليفورنيا، في ليلة السادس والسابع من فبراير عام ١٩٣٣م.

موسوعة جينيس للأرقام القياسية (١٩٩٨م)

## (١١) برودة الجنوب

لأسباب فلكية بالكامل، ينبغي أن يعاني نصف الكرة الجنوبي للأرض من فصول شتاء أشد برودة وفصول صيف أشد حرارة من النصف الشمالي. في الواقع، أقل درجة حرارة مسجَّلة، –١٢٨,٦ درجة فهرنهايتية (–٨٩,٢ درجة مئوية)، سُجلت في القارة

القطبية الجنوبية. ومع ذلك، فالظروف الاستثنائية العجيبة التي تقع إجمالًا في نصف الكرة الجنوبي تعوِّض هذه النزعة على نحو فعَّال للغاية. ما الأسباب الفلكية الغامضة والظروف الاستثنائية العجيبة التي نشير إليها هنا؟

بلدة ويذرزفيلد، بولاية كونيتيكت، هي البلدة الوحيدة في الولايات المتحدة التي ضربها نيزك مرتين متعاقبتين. ومن التفسيرات المحتملة لهذا الأمر أن بلدة ويذرزفيلد تقع على مقربة من هارتفورد؛ مركز تأمين الولايات المتحدة.

## (١٢) الجبهات الهوائية

عند وجود الهواء البارد والهواء الدافئ أحدهما إلى جوار الآخر، كما يحدث في الجبهات الهوائية، فإنه حتى إذا لم يوجد اختلاف في الضغط عند المستوى الأرضي، فسيعمل الهواء الدافئ والهواء البارد عمل مناطق الضغط الجوي المرتفع والضغط الجوي المنخفض على الترتيب. ومن شأن اختلاف الضغط بينهما أن يُوجِد ما يُطلَق عليه الرياح الحرارية. على الجانب المقابل، نحن نعلم أن الهواء البارد أشد كثافة من الهواء الدافئ؛ لذا يبدو أن الهواء البارد هو الذي ينبغي أن يكون مرتبطًا بمناطق الضغط المرتفع. كيف لنا أن نحلَّ هذا التناقض الظاهري؟

بسبب التيارات الهوائية، عادةً ما يتساقط الثلج إلى أعلى عند سقف بناية الإمباير ستيت في نيويورك.

## (١٣) البرق والرعد

الرعد هو الصوت الذي يحدث نتيجة تمدُّد الغازات بسرعة كبيرة على امتداد قناة للتفريغ البرقي. لكن على العكس من صاعقة البرق التي تقع على نحو فوري، يصدر صوت الرعد بطريقة مختلفة. فلماذا تحدث الدمدمة والهدير والهزيم وقصفة الرعد؟

المتوسط العالمي لدرجة حرارة السطح يبلغ ١٤,٠ درجة مئوية. نصف الكرة الشمالي أدفأ قليلًا من النصف الجنوبي، بمتوسط ١٤,٦ درجة مئوية في مقابل ١٣,٤ درجة مئوية. عبر الفترة بين عامَي ١٨٦١ و١٩٩٧م، ارتفع متوسط درجة الحرارة العالمية بمقدار ٠,٥٧ درجة مئوية. القدر الأكبر من صافي الدفء يقع في الليل؛ ففي الفترة بين عامَي ١٩٥٠ و١٩٩٣م ارتفع متوسط الحد الأدنى لدرجة الحرارة بمقدار ٠,١٨ درجة مئوية لكل عَقد، بينما ارتفع المتوسط أثناء اليوم بمقدار ٠,٠٨ درجة مئوية فقط لكل عَقد.

## (١٤) برق دون رعد؟

هل يمكن أن يحدث برق دون رعد؟

الربيع، ذلك الفصل الذي تُزرع فيه المحاصيل، يتحرَّك بمقدار درجة واحدة في اتجاه الشمال كل أربعة أيام، ويصل متأخرًا بيوم كامل كل ارتفاع مقداره ١٠٠ قدم.

## (١٥) اتجاه ضربة البرق

هل البرق الحادث بين السُّحب والأرض ينتقل إلى الأعلى أم الأسفل؟

الرقم القياسي لمعدل سقوط المطر خلال فترة زمنية قصيرة هو ١٢ بوصة في ٤٢ دقيقة، وذلك في هولت، بولاية ميزوري، عام ١٩٤٧م.

## (١٦) مجال كهربائي خارج منزلك

حين تخرج من منزلك في يوم صافٍ فأنت تكون محاطًا بمجال كهربائي متجه لأسفل مقداره نحو ١٠٠ فولت لكل متر عند سطح الأرض. تتفاوت شدة المجال بدرجة كبيرة باختلاف الموقع، وطبوغرافيا المكان، والوقت من اليوم، وحالة الطقس. ومتوسط القراءات المأخوذة على قمة الجبال أعلى كثيرًا من القراءات المأخوذة على مستوى سطح البحر أو على الأرض المستوية. وعلى العكس، القراءات المسجَّلة في الوديان تكون أقل. حين تأتي

سحابة رعدية، قد يرتفع المجال حتى ١٠ آلاف فولت لكل متر. فلماذا لا يقتلك فرق الجهد هذا؟

> في المتوسط، يضرب البرق الطائرة التجارية العادية مرة كل ٥ آلاف إلى ١٠ آلاف ساعة من وقت الطيران. وفي جميع الأحوال تقريبًا تواصل الطائرة التي ضربها البرق طيرانها. وعمومًا، يخلِّف البرق آثارَ نقرات أو علامات حروق على بدن الطائرة المعدني، أو يخلِّف ثقوبًا أو حروقًا فيه. وتؤكد وكالة الطيران الفيدرالية وجود ثقوب عرضها يصل إلى ٤ بوصات في بعض الأحيان، وإن كان الحجم الشائع هو نصف البوصة.
>
> مارتن إيه أومان

## (١٧) الشحنة السالبة للأرض

لماذا يتسم سطح الأرض بأنه سالب الشحنة؟

> **أهو تأثير كوريوليس؟**
>
> في حفلات الكوكتيل يميل الضيوف إلى الدوران في اتجاه عقارب الساعة حول طاولة البوفيه. فهذه المنطقة منطقة ضغط عالٍ!

## (١٨) تفاوت المجال الكهربائي العالمي

يبلغ تفاوت المجال الكهربائي الجوي العالمي حدَّه الأقصى يوميًا عند الساعة ١٩٠٠ (السابعة مساءً) بالتوقيت العالمي (توقيت جرينيتش). هل من فكرة عن سبب ذلك؟

> الفارق بين مناطق الضغط العالي ومناطق الضغط المنخفض يكون عادةً أقل من ٣ بالمائة.

## (١٩) نطاق استقبال موجات الراديو

من الأيسر كثيرًا استقبال إشارات الراديو إيه إم (والموجات القصيرة) في الليل. في الواقع، من أجل منع التداخل، فإن معظم المحطات التي تبثُّ على التردد إيه إم مطالَبةٌ بأن تقلِّل طاقتها أو حتى توقف البث عند الغسق. ما الظروف التي توجد في الليل وتساعد في زيادة نطاق موجات الراديو؟

> لقد سئمتُ ذلك الشيء المسمَّى بالعلم ... أنفقنا الملايين على هذا النشاط على مدار السنوات الأخيرة الماضية، وقد حان الوقت الذي ينبغي فيه أن يتوقف ذلك.
>
> سايمون كاميرون (سيناتور أمريكي من بنسلفانيا، ١٨٦١م)

## (٢٠) استقبال راديو السيارة

ربما تكون قد لاحظت أنه رغم أن البث بنظام إيه إم على راديو السيارة ينقطع عندما تمر أسفل جسر، فإن البث بنظام إف إم في الموقف ذاته سيستمر دون انقطاع. لماذا يوجد هذا الاختلاف الكبير في الاستقبال بين إشارات الإيه إم وإشارات الإف إم؟

> إلى أيِّ مدًى تتسم المشكلات الفيزيائية الخاصة بالحُفَر العميقة في الأرض بالواقعية؟ على سبيل المثال، يمكننا أن نبين أن أي جسم يتحرَّك داخل نفق مستقيم أملس محفور بين نقطتين على سطح الأرض تحت تأثير الجاذبية وحدها سيتخذ حركة توافقية بسيطة ذات فترة قوامها ٨٤٫٣ دقيقة. المشكلة هي أنك لا تستطيع أن تُبقي على حفرة مفتوحة على عمق يزيد، مثلًا، عن ١٦ كيلومترًا. وعلى عمق ٣٠ كيلومترًا، سيكون الضغط ودرجة الحرارة عظيمين للغاية، لدرجة أنه حتى المسام والثقوب الموجودة في الصخور الصلبة سوف تنغلق.

## (٢١) أحواض استحمام مغناطيسية

كل جسم حديدي ساكن في الولايات المتحدة ممغنط، بحيث يكون القطب الشمالي المغناطيسي في الأسفل والقطب الجنوبي في الأعلى! وهذا يشمل أحواض الاستحمام

وخزانات الملفات والثلاجات، بل وحتى المظلات ذات القضبان الحديدية التي تُترك منتصبة لفترة من الوقت. هل من فكرة عن سبب ذلك؟

> علماء الأرصاد الجوية لا يهرمون، بل تعصف بهم رياح العمر.

## (٢٢) دوَّامة حوض الاستحمام

عند تصريف المياه من حوض الاستحمام، تنشأ حركة دوَّامية حول فتحة التصريف. العديد من الناس يظنون أن دوران الدوامة يكون دائمًا في عكس اتجاه عقارب الساعة في نصف الكرة الشمالي وفي اتجاه عقارب الساعة في نصف الكرة الجنوبي، ويظنون أن هذا التأثير ينتج عن دوران الأرض حول نفسها. هل لهذا الاعتقاد ما يبرِّره؟

> كل الماء الموجود على سطح الأرض يمكن احتواؤه داخل مكعب طول ضلعه ٧٠٠ ميلٍ.

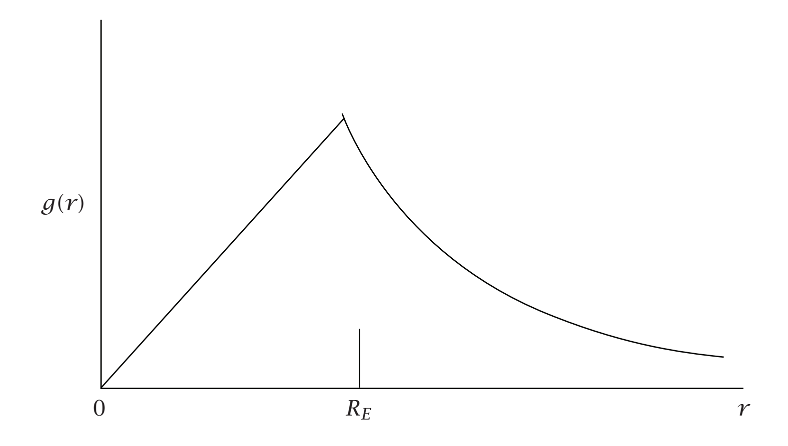
## (٢٣) الجاذبية قُرب الجبال

قد تتوقَّع أن قوة الجاذبية الناتجة عن وجود سلسلة جبلية بالجوار ستتسبَّب في جعل الشاقول يميل بزاوية مختلفة قليلًا عن الزاوية العمودية. هذا المثال يظهر بالفعل في العديد من المقرَّرات الدراسية عن الفيزياء. ومع ذلك، كان الأمر المفاجئ أن الانحراف المرصود يقل كثيرًا عن ذلك الذي تنبَّأت به الحسابات النظرية. في الواقع، مقدار الانحراف يبلغ فعليًّا صفرًا، وهو ما يعني ضمنًا أن سلسلة الجبال لا تمارِس أي قوة جذب إضافية على الشاقول. هل من سبيل لحل هذا التناقض الظاهري؟

> في نصف الكرة الشمالي، حوالي سبع من كل عشر حالات غروب تكون الشمس فيها حمراء اللون تنبِّئ بطقس طيب.
>
> جاري لوكهارت

## (٢٤) الجاذبية داخل الأرض

الكثير من الأشخاص واقعون تحت انطباع بأن شدة مجال الجاذبية $g(r)$ تنخفض مع ابتعاد المرء عن سطح الأرض. وبالنسبة إلى كرة مصمَتة لها نصف القطر $R$، والكتلة $M$، وكثافة منتظمة، يكون مجال الجاذبية على المسافة $r$ من المركز هو $g(r) = (GM/R^3)r$، وهو ما يبين وجود زيادة خطِّية من المركز إلى السطح. هل لنا أن نتوقَّع أن تنطبق هذه العلاقة البسيطة على العالم الواقعي؟




البرق يضرب الرجال بمعدل يزيد أربعة أضعاف عن النساء.

## (٢٥) لماذا تكون عجلة الجاذبية أكبر عند القطبين؟

يقال دومًا إن عجلة الجاذبية عند القطبين تكون أكبر مما هو الحال عند خط الاستواء؛ لأن سطح الأرض عند القطبين يكون أقرب بمسافة ٢١ كيلومترًا إلى مركز الأرض، وهو ما يرجع إلى تسطُّح شكل الأرض. هل هذا هو السبب الرئيسي؟

يقال إن جبل إفرست هو أعلى جبل؛ إذ يبلغ ارتفاعه ٢٩٠٢٨ قدمًا فوق سطح البحر. لكن ثمة طريقة أخرى لقياس قمم الجبال تتمثَّل في قياس المسافة بين القمة وبين مركز الأرض. على هذا الأساس، يكون بركان تشيمبورازو في الإكوادور، بارتفاعه البالغ ٢٠٥٦١ قدمًا فوق سطح البحر، أعلى من جبل إفرست بميلين كاملين. وسبب هذا هو أن الأرض تكون منتفخة الشكل عند خط الاستواء (قرب تشيمبورازو) ومسطحة عند القطبين.

## (٢٦) الوميض الأخضر

يمكن للمرء أن يلمح أحيانًا تأثيرًا استثنائيًّا يسمَّى الوميض الأخضر عند غروب الشمس. فحين يكون الجزء الأخير من قرص الشمس على وشْك الاختفاء، يتحوَّل لونه إلى لون أخضر ساطع. يمكن رؤية هذا التأثير فقط لو كان الهواء صافيًا وكان الأفق مرئيًّا بوضوح؛ وهو ما يحدث عادةً عند البحر أو في الجبال أو في البلاد الصحراوية. كيف تستطيع الطبيعة أن تنتج هذه الظاهرة؟

أغلب المحيط الأطلنطي يقع بدرجةٍ ما تحت مستوى سطح البحر.

من كتاب آرت لينكليتر بعنوان «حديقة المعلومات المغلوطة للأطفال»

ترتفع حالات الانتحار بمعدل ٣٠ بالمائة كلما تغيَّر الضغط بدرجة تزيد عن ٠٫٣٥ بوصة في اليوم.

## (٢٧) الأنهار المتعرِّجة*

لا وجود مطلقًا لنهر يجري في خطٍّ مستقيم. في الواقع، وُجد أن المسافة التي يقطعها أيُّ نهر في خط مستقيم لا تتجاوز في المعتاد عشرة أضعاف عرض النهر في تلك النقطة. في البداية قد نفترض أن النهر يتلوَّى ويتعرَّج في استجابة مباشرة للمرتفعات والمنخفضات التي يواجهها في طريقه، لكن ليس هذا هو السبب على الإطلاق! فحتى على منحدر سلس

هادئ، لا تتدفَّق المياه في خط مستقيم هبوطًا، بل تتلوَّى وتتعرَّج كما لو كانت تحاول بكل قوتها أن تتفادى السير في خطٍّ مستقيم إلى الأسفل. فما السبب؟

شهدت إنتاجية الطاقة الشمسية تغيُّرات بالغة على مدار القرون، ويبدو أنها ترتبط بالتغيرات على الأرض. على سبيل المثال، وقعت أقلُّ فترة للنشاط الشمسي بين عامَي ١٦٠٠ و١٧٠٠، حين اختفت البقع الشمسية تمامًا خلال النصف الثاني من ذلك القرن. أيضًا كانت تلك أشد الفترات برودةً على مدار السنوات الألف الماضية، ويطلَق عليها أحيانًا «العصر الجليدي الصغير».

## (٢٨) الحصول على الطاقة من البيئة المحيطة*

ثمة معتقَد شائع مفاده أنه بسبب القانون الثاني من قوانين الديناميكا الحرارية لا نستطيع استخدام الطاقة الموجودة في محيطنا من أجل بذل شغل مفيد. على سبيل المثال، لا يستطيع زورق آلي شفط الماء، واستخلاص الطاقة منها من أجل دفع مروحته، ثم يتخلَّص من كتل الجليد الناتجة عن هذه العملية. يبدو القانون الثاني وكأنه يمنع مثل هذه الاحتمالية بسبب الافتقاد لمخزون الحرارة عند درجات الحرارة المنخفضة. ومع ذلك، يوجد بالفعل مخزونُ حرارة كهذا، وهو متاح للاستخدام الفوري من جانبنا. هل من أفكار بشأن ماهية هذا المخزون؟

**تقويم شيريدان**

**أشهر الخريف:** شهر الصفير، وشهر العطس، وشهر التجمد.

**أشهر الشتاء:** شهر التزلج، وشهر تساقط الثلج، وشهر البرد القارس.

**أشهر الربيع:** الشهر المطير، وشهر الزهور، والشهر الظليل.

**أشهر الصيف:** شهر التقافز، وشهر المحاصيل، وشهر تفتح الأزهار.

## (٢٩) درجة حرارة الأرض*

ما الذي يحدِّد درجة حرارة الأرض؟ لا يمكن أن تتحدَّد درجة الحرارة من خلال الحرارة المتسرِّبة من باطن الأرض. فهذه الطاقة مقدارها ضئيل للغاية مقارنةً بالإشعاع الشمسي الذي يمتصُّه سطح الأرض. في حالة التوازن، يجب أن يتساوى مقدار الطاقة الممتصة في المتوسط مع مقدار الطاقة المُشعَّة إلى الفضاء. ودرجة حرارة التوازن التي سنحصل عليها باستخدام هذه المساواة هي ٢٥٦ درجة كلفنية، أو –١٧ درجة مئوية، وهو ما يقل بنحو ٣٠ درجة مئوية عن القيمة الفعلية المَقِيسة. هل ارتكبنا خطأً ما، أم تُرانا أغفلنا شيئًا ما؟

> أظهرت دراسة أُجريت عام ١٩٦٤م على تلاميذ المدارس في ويسكونسن، أن التلاميذ كانوا أكثر هدوءًا في الأيام الصافية، وأكثر اضطرابًا في الأيام الغائمة. وقد كانت درجات الاختبارات في أعلى معدلاتها خلال أكثر الأوقات اضطرابًا.
>
> جاري لوكهارت

## (٣٠) تأثير الصُّوبة*

هل من المنطقي أنْ نَصِفَ العلاقة بين زيادة تركيزات ثاني أكسيد الكربون والارتفاع المُفترَض في درجة حرارة الكوكب بأنها «تأثير الصُّوبة»؟ يزعم البعض أن سبب دفء الصوبات الزراعية هو حبس الإشعاع؛ إذ إن الزجاج شفاف أمام الإشعاع الشمسي، لكنه مُعتِم أمام الأشعة تحت الحمراء. لكن يذهب آخرون إلى أن الصوبات الزراعية ما هي إلا مآوٍ من الرياح؛ فكلُّ ما تفعله هو منع انتقال الحرارة عن طريق الحمل. أيُّ الفريقين هو المحق؟

> في اليوم العادي، يحتوي السنتيمتر المكعَّب من الهواء على ١٢٠٠ أيون موجب و١٠٠٠ أيون سالب. هذه الأيونات السالبة تكون في الغالب ذرات أكسجين بها إلكترون إضافي، والأيونات الموجبة تكون ذرات ثاني أكسيد كربون ينقصها إلكترون.

## (٣١) قياس حجم الأرض*

في حوالي عام ٢٠٠ قبل الميلاد، خرج إراتوستينس، أمين مكتبة الإسكندرية العظيمة، بطريقة بسيطة لتحديد محيط كوكب الأرض. كان قد قرأ أنه في مدينة أسوان، بمصر، لا تُلقي المسلَّات أيَّ ظلال في ظهيرة يوم الحادي والعشرين من يونيو، كما يهبط ضوء الشمس مباشرةً حتى قاع الآبار. وقد لاحظ أيضًا أنه في مدينة الإسكندرية (الواقعة إلى الشمال مباشرةً من أسوان) كانت الشمس في ظهيرة اليوم عينه تميل عن السمت بمقدار سبع درجات. بعد ذلك حصل إراتوستينس على قياس للمسافة بين الإسكندرية وأسوان، غالبًا بمساعدة مسَّاح يسير في خطوات متساوية الطول. تبيَّن أن المسافة تبلغ ٥٠٠ أستيديوم. وباستخدام هذا الرقم حَسْب إراتوستينس تبيَّن أن محيط الأرض يبلغ (٣٦٠°/ ٧°) × ٥٠٠٠، أو بالتقريب ٢٥٠ ألف أستيديوم، ما يعادل ٤٢ ألف إلى ٤٦ ألف كيلومتر، وهو ما يزيد بنحو ٥ في المائة عن المقدار الفعلي.

رغم بساطة هذه الطريقة، فإنها مُجهِدة. واليوم يستطيع أي شخص أن يحدِّد حجم الأرض في حدود دقَّة مقدارها ١٠ بالمائة فقط عن طريق مشاهدة غروب الشمس. هل يمكنك أن تشرح كيف يمكن عمل ذلك؟

> ليست رحلة الاكتشاف الحقيقية هي تلك التي نرى فيها أراضِيَ جديدة، بل تلك التي ننظر فيها بأعين جديدة.
>
> مارسيل بروست

الفصل الثاني عشر

# الكون

يحتوي الكون على كمٍّ هائل من التحديات الفيزيائية، لكن في هذا الفصل لن نكون بحاجة للابتعاد كثيرًا عن حدود مجموعتنا الشمسية وشمسنا الوحيدة كي نعثر على المفاجآت. كلنا استمتعنا بمشهد نجوم مجرتنا وهي تشكِّل خلفية للكواكب التي تهيم في أرجاء السماء. إن القمر، بطبيعة الحال، زائر دائم لسمائنا، في الليل والنهار. وفي القرن العشرين انضمَّت الأقمار الصناعية إلى حشد الأجرام التي تدور في الفضاء؛ إذ تمرق بسرعة خاطفة عبر السماء مذكِّرةً إيانا بمدى قُربها منَّا. وفي ظل وجود هذا العدد الكبير من الأجرام المألوفة، يمكننا توجيه عدد لا يُحصى من الأسئلة. وإليك بعض الأسئلة التي تستثير تفكيرك.

## (١) رؤية الأقمار الصناعية

لماذا يكون من الممكن رؤية الأقمار الصناعية خلال الساعتين التاليتين على الغروب أو الساعتين السابقتين على الشروق فقط وليس في أي وقت آخر؟

> إنني منشغل كثيرًا ببحث المسبِّبات الفيزيائية لحركة المجموعة الشمسية. وهدفي هو أن أبيِّن أن المنظومة السماوية ليست كيانًا حيًّا إلهيًّا، وإنما أشبه بالآلة الميكانيكية ... وإلى الآن وجدت أن الحركات المتنوعة جميعها تقريبًا تسبِّبها قوة مادية مغناطيسية من أبسط ما يكون، تمامًا كما تحدُث كل حركات الساعة بسبب ثقل بسيط.
>
> يوهانز كبلر

## (٢) قمر صناعي مُحتضَر

في المرَّات الأخيرة لظهور قمر صناعي محتضَر، يظهر القمر في الجزء نفسه من السماء لعدة أيام قبل أن يتحطَّم في الغلاف الجوي. لماذا؟

> يتألَّف الكون من حكايات، لا من ذرات.
>
> الشاعرة موريل روكايزر

> قبل تيكو براهي، كانت أفضل حسابات علم الفلك تتسم بعدم الدقة بمقدار لا يقل عن ١٠ دقائق قوسية. أما قياسات براهي فلا يتجاوز مقدار الخطأ فيها دقيقتين قوسيَّتين.

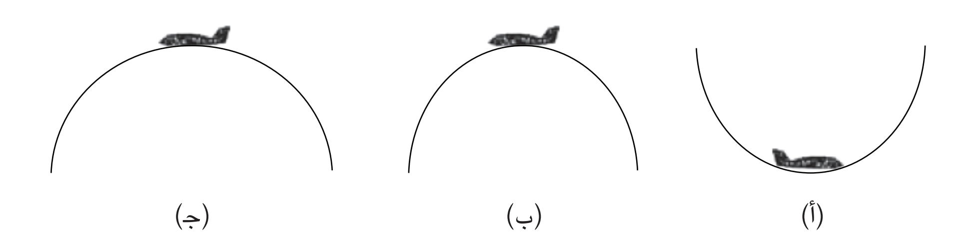
## (٣) كيب كانيفرال

لماذا أُطلقت الأقمار الصناعية الأمريكية الأولى من كيب كانيفرال بولاية فلوريدا؟ وبصفة عامة، لماذا تقع مواقع الإطلاق الفضائي — على غرار مركز كينيدي للفضاء في كيب كانيفرال — في المعتاد قُرب المناطق الاستوائية؟

> تُصدِر الشمس ضوءًا يعادل ٦٠٠ ألف مرة ضوء القمر وهو بدر.
>
> صِف الكون، واذكر مثالين.
>
> من أحد اختبارات نهاية العام في علم الفلك

## (٤) انعدام الوزن داخل طائرة

من الممكن تحقيق انعدام الوزن لمدة ٢٠ إلى ٣٠ ثانية في طائرة عادية تقوم بواحدة من المناورات التالية: (أ) حلقة داخلية (بحيث يكون مركز الحلقة فوق الطائرة). (ب) حلقة دائرية خارجية (بحيث يكون المركز أسفل الطائرة). (ج) حلقة خارجية على شكل قطع مكافئ. أيٌّ مناورة هي الصحيحة؟




> ألا ينبغي أن ننسب إلى الله، خالق الطبيعة، تلك المهارة التي نلحظها في عموم صنَّاع الساعات؟ فهؤلاء يتجنَّبون في حرصٍ وضع أي ترس لا لزوم له، أو أي ترس يمكن أن تؤدَّى وظيفته على نحو أفضل من خلال تغيير طفيف في موضع ترس آخر.
>
> جورج ريتكوس (أحد الداعمين الأوائل لأفكار كوبرنيكوس)

## (٥) شمعة في حالة انعدام وزن

هل ستشتعل الشمعة في حالة انعدام الوزن؟

> أوضحنا في هذه الورقة أن أي صاروخ قادرٍ على حمل رجل إلى القمر ذهابًا وإيابًا يجب أن يكون ذا حجم ووزن هائلَيْن؛ بل إنه سيكون من الكِبَر بحيث إن المشروع يمكن تصنيفه على أنه مستحيل.
>
> جيه هيمبان وآر رايشيل، «الدورية الأمريكية للفيزياء»، ١٧، ٢٥١ (١٩٤٩م)

## (٦) غلي الماء في الفضاء الخارجي

يضع رائد فضاء على متن مركبة فضائية غلَّاية ماء على موقد كهربائي كي تغلي في ظروف انعدام الوزن. عند الرجوع إلى الغلاية بعدها بساعة، يجد أن الماء الموجود بالأعلى لا يزال باردًا. فما السبب؟

لكل ٧٫٩ كيلومترات تقطعها على الأرض، ينخفض مستوى السطح بمقدار ٤٫٩ أمتار، وهو الارتفاع الذي يسقطه الجسم في الثانية الواحدة. ومن ثم، يبلغ مقدار السرعة المدارية في أدنى مدار حول الأرض ٧٫٩ كيلومترات في الساعة.

## (٧) المدى الأقصى

أنت ترغب في إطلاق مركبة فضائية بحيث تصل إلى أبعد مسافة ممكنة داخل المجموعة الشمسية. أيُّ الخيارين التاليين يمنحك أقصى مدًى في مقابل وقود أقل: أن تُطلِق المركبة في اتجاه السرعة المدارية لكوكب الأرض حين تكون الأرض في أقرب موضع إلى الشمس؟ أم حين تكون الأرض في أبعد موقع عن الشمس؟

بعد أن حطَّت المركَبَة القمرية «إيجل» برائدَيِ الفضاء نيل أرمسترونج وباز ألدرين على سطح القمر في منطقة «بحر الهدوء» في العشرين من يوليو ١٩٦٩م، فتح ألدرين علبةً تحتوي عشاءً ربانيًّا مصغَّرًا أعدَّه راعي الكنيسة المشيخية التابع لها، وأكل قطعة صغيرة من الخبز وشرب النبيذ، وفي سكون شكَرَ الربَّ على الذكاء والروح اللذين جلبا رواد الفضاء إلى القمر. يبدو أنه ليس بالإمكان فصل الكنيسة عن الفضاء!

## (٨) تأثير مقاومة الهواء على الأقمار الصناعية

ما تأثير مقاوَمة الهواء على القمر الصناعي الذي يدور في الطبقات العليا من الغلاف الجوي؟ هل ستقلِّل من سرعة القمر الصناعي أم تزيدها؟

في المعتاد يطير مكوك الفضاء بالمقلوب، وإلى الخلف؛ بحيث يعمل الجزء السفلي المعزَّز بمنزلة درعٍ. وسبب الطيران بالمقلوب هو تمكين النوافذ العلوية من أن تُطِلَّ على الأرض.

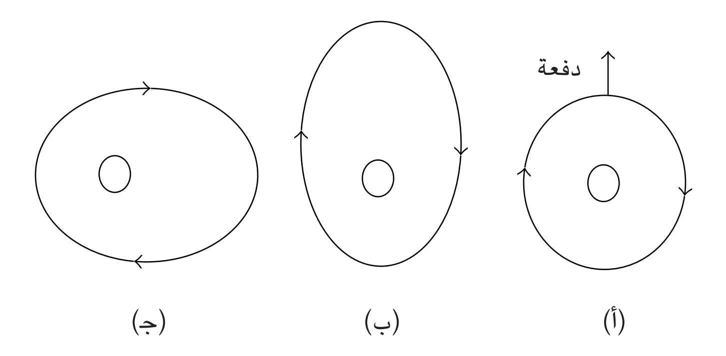
## (٩) الانفصال

حين ينفصل القمر الصناعي عن صاروخ الإطلاق الذي استُخدم لوضع القمر في مداره حول الأرض، نرى أن الصاروخ يتجاوز القمر الصناعي تدريجيًّا، حتى بعد انطفاء محركاته. هل من أفكار عن سبب ذلك؟

تزن بذلة الفضاء التقليدية نحو ٢٧٥ رطلًا، وشأن الإطار المنفوخ، يصل الضغط داخلها إلى ٤,٣ أرطال لكل بوصة مربعة.

## (١٠) تغيير المدار: الدفع الشعاعي

تُشغَّل المحرِّكات الموجودة على متن مركبة فضائية تدور في مدار دائري حول الأرض لفترة وجيزة كي تمنح المركبة دفعة شعاعية كما هو مبين بالشكل (أ). هل ستنتج هذه الدفعة المدار (ب) أم (ج)؟

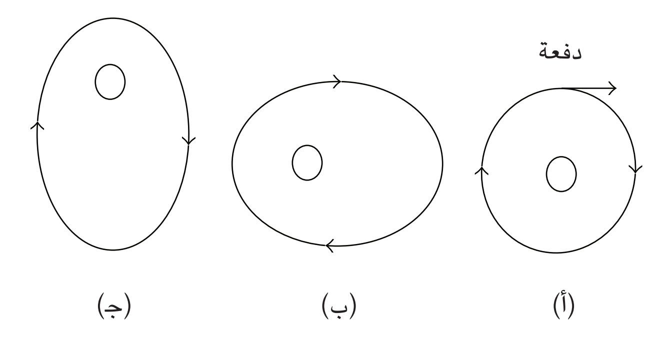


كل شخصٍ قمرٌ في حد ذاته، وله جانب مظلم لا يُريه مطلَقًا لأي شخص.

مارك توين

## (١١) تغيير المدار: الدفع المماسي

تُشغَّل المحركات الموجودة على متن مركبة فضائية تدور في مدار دائري حول الأرض لفترة وجيزة كي تمنح المركبة دفعة مماسية كما هو مبين بالشكل (أ). هل ستنتج هذه الدفعة المدار (ب) أم (ج)؟




في الرحلة التقليدية لمكوك الفضاء، تُظلِم السماء بسرعة كبيرة، وتصير سوداء بالكامل بعد حوالي دقيقتين من الإقلاع.

## (١٢) سُرعات العادم

تخيَّل أن هناك صاروخًا يتحرَّك على نحوٍ موازٍ للأرض لكن على ارتفاع كبير. هل من الممكن لغازات العادم أن تتحرَّك في نفس اتجاه تحرُّك الصاروخ نسبةً إلى الأرض ومع ذلك تظل تدفع الصاروخ إلى الأمام؟

وجد روبرت إدواردز أن الانخفاضات في أسعار الأسهم كانت تتزامن مع القمر وهو وليد، وحين يكون بدرًا. أما الأسعار العالية فكانت تتزامن مع التربيعين الأول والثالث للقمر. وكان الفارق بين تلك الانخفاضات والارتفاعات يبلغ نحو ١ في المائة فقط.

جاري لوكهارت

## (١٣) وضعية الإطلاق

خلال إطلاق مكوك الفضاء، يتخذ رواد الفضاء عادةً وضعية استلقاء (أيْ وضعية موازية للأرض). لماذا تُفضَّل هذه الوضعية على وضعية الجلوس في انتصاب؟

**النوم في حالة انعدام الوزن**

تطفو أذرع رواد الفضاء أمام أجسادهم وهم نيام.

## (١٤) الإفلات من الأرض

إذا أُطلِق صاروخ عموديًّا للأعلى بسرعة مقدارها ١١,٢ كيلومترًا في الثانية ثم انطفأ المحرك، فسيظل الصاروخ قادرًا على الإفلات من الأرض. الآن افترِضْ أن الصاروخ أُطلِق على نحو أفقي تقريبًا بالسرعة الابتدائية عينها. في ظل تجاهل تأثيرات الهواء، هل سيظل الصاروخ قادرًا على الإفلات من الأرض؟

بينما كنتُ راقدًا في هذه الكبسولة، نظرتُ إلى المفاتيح والأزرار والقراءات، فكَّرتُ خلال العد التنازلي: «فقط تذكَّرْ أن هذه الكبسولة صُنعت على يد من قدَّم العطاء الأرخص.»

والتر شيرا

## (١٥) التقاء المدارات

تخيَّلْ أنك قائد لمكوك فضائي في مهمة تهدف لالتقاء المكوك بمحطة فضائية. تقع المحطة على نفس ارتفاعك وعلى مسافة ٥٠ كيلومترًا إلى الأمام في مدار دائري. لتقريب المسافة، تُطلِق صواريخك الدافعة كي تزيد سرعة المكوك في اتجاه المحطة الفضائية. هل ستنجح هذه المناورة؟

> إن بلوتو، بقُطْره البالغ ٢٣٠٠ كيلومتر، أصغر من القمر، وهو أصغر كذلك من الأقمار الجاليلية الأربعة للمشتري، وأصغر من القمر تايتان الذي يدور حول زُحَل، والقمر تريتون الذي يدور حول نبتون.

## (١٦) الانطلاق نحو القمر

يمتلك مركز كينيدي للفضاء في كيب كانيفرال موقعًا ملائمًا للغاية للإطلاق بفضل قُربه من خط الاستواء. الأمر الأكثر إثارةً للاهتمام من هذا هو أن ثمة شيئًا خاصًّا بشأن دائرة العرض ٢٨,٥، وهو ما منح برنامج أبوللو الأمريكي (١٩٦٦–١٩٧٢م) مزية تنافسية. إن دائرة العرض ٢٨,٥ مثالية لإطلاق الرحلات إلى القمر. هل يمكنك معرفة السبب؟

> **تحدي الصاروخ**
>
> باستثناء الوَقود النووي الافتراضي، لا يوجد وَقود دافع معروف بعدُ يملك من الطاقة الكيميائية ما يكفي لرفع وزنه إلى مدار حول الأرض، فضلًا عن الإفلات من الجاذبية الأرضية بالكامل. الرِّحلات الجوية المأهولة محدودة بارتفاعات تتراوح بين ١٠٠ ميل بحري إلى ٣٠٠ ميل بحري. الارتفاعات التي تقلُّ عن ١٠٠ ميل بحري ليست ممكنة بسبب مقاومة الغلاف الجوي، وتقصُر أحزمة فان ألين الإشعاعية رِحلات الطيران على الارتفاعات التي تقلُّ عن ٣٠٠ ميل بحري.

## (١٧) الاقتصاد في وَقود الصواريخ

أيُّ الخيارين التاليين أوفر من الناحية الاقتصادية بالنسبة إلى صاروخ ذي مرحلتين؛ بمعنى: أيُّ تتابع من العمليات من شأنه أن يذهب بالحمولة إلى الارتفاع الأقصى؟ (أ)

تشغيل المرحلة العليا بعد أن يكون صاروخها الدافع قد حملها إلى أقصى ارتفاع لها، أم (ب) تشغيل المرحلة العليا على ارتفاع منخفض في أعقاب حرق الصاروخ الدافع لوقوده؟ افترِضْ أن كل مرحلة لها نفس سرعة الاحتراق، وأن عجلة الجاذبية واحدة على جميع الارتفاعات.

> في المعتاد، يطير مكوك الفضاء على ارتفاع قدره ١٨٥ ميلًا.

## (١٨) سرعة كوكب الأرض

في أي وقت تدور الأرض بأقصى سرعة لها حول الشمس؟ وفي أي وقت تدور بأقل سرعة؟

> السرعة القصوى التي يدخل بها نيزكٌ الغلافَ الجوي تبلغ نحو ٧٢ ميلًا في الثانية.

## (١٩) هل الأرض في خطر؟

هل هناك خطرٌ من أن تسقط الأرض في الشمس؟

> من الأفضل أن نفسِّر «الأجسام الطائرة المجهولة» على أنها نتاج لعدم عقلانية الكائنات الأرضية، لا أنها نتاج لعقلانية كائنات غير أرضية.
>
> ريتشارد فاينمان

## (٢٠) كوكب الأرض الراحل

إذا توقَّفت الأرض بغتةً عن حركتها المدارية، فكم من الوقت ستستغرق حتى تسقط في الشمس؟

لاحظ الراصدون الأوائل للقمر — ومن بينهم جاليليو — أن القمر في طَور البدر يبدو وكأنه مسطَّح. فإذا أُضيء جسم دائري، كبالون منفوخ أو كرة، بالطريقة نفسها التي يُضاء بها القمر البدر، يحدث تأثير جليٌّ ثلاثي الأبعاد؛ إذ يحدث إظلام تدريجي حول الحوافِّ بينما تكون المنطقة الأشد سطوعًا في المركز. ويأتي تمتُّع القمر البدر بإضاءة متساوية تقريبًا في كل أجزاء سطحه نتيجة شكل سطحه غير المعتاد. فالضوء القادم من الشمس ويضرب القمر يُمتَص بالكامل تقريبًا بواسطة سطح القمر، ونسبة ١٢ بالمائة فقط من ضوء الشمس هي التي تنعكس. على النقيض من ذلك، تعكس الأرض نحو ٣٧ بالمائة من ضوء الشمس الواقع عليها.

كيم لونج

## (٢١) سطوع الأرض

لكوكبَي الأرض والزهرة الحجم عينه؛ ومع ذلك، عند النظر لكوكب الأرض من كوكب الزهرة نجد أن كوكب الأرض في أقصى درجات سطوعه يبدو أشد سطوعًا بست مرات مما قد يبدو عليه كوكب الزهرة عند النظر إليه من الأرض. هذه النتيجة تتحقَّق رغم حقيقة أن كوكب الأرض يبعد عن الشمس بمسافة أكبر، وأن انعكاسية الضوء المرئي لكوكب الزهرة أكبر من تلك الخاصة بكوكب الأرض! كيف يمكنك تفسير هذا التناقض الظاهري؟

الثقوب السوداء هي المواضع التي يُقسَم فيها الإله على الرقم صفر.

ستيفن رايت

كلنا عالقون في الحضيض، لكن البعض منا ينظرون إلى النجوم.

أوسكار وايلد

## (٢٢) الشُّهُب

في أي ليلة صافية يمكن أن نرى في السماء شهابًا كلَّ نحو عشر دقائق؛ ومع ذلك، يزداد عدد الشهب مع اقترابنا من الصباح. لماذا؟

> العدد الأقصى لحالات الكسوف الشمسي والخسوف القمري على السواء الممكنة خلال عام واحد، هو سبع حالات. أما العدد الأقل لحالات الكسوف والخسوف الممكنة في عام واحد فهو حالتان، لكن يجب أن يكون كلاهما كسوفًا شمسيًّا، كما حدث عام ١٩٨٤م.

## (٢٣) الدوران البطيء للأرض

تُظهِر كواكب مجموعتنا الشمسية علاقة مثيرة للاهتمام بين الكتلة وفترة الدوران. وبصفة عامة، كلما كانت كتلة الكوكب أكبر، زادت سرعة دورانه حول نفسه. ومن ثم فإن المشتري، الذي يملك كتلةً أكبر من أي كوكب آخر من كواكب المجموعة، يكون أسرع الكواكب دورانًا حول نفسه، وتكون له أقصر فترة دوران ومقدارها ٩ ساعات و٥٠ دقيقة. أما زُحَل، ذو الكتلة الأقل من المشتري، فيدور حول نفسه في ١٠ ساعات و١٤ دقيقة. وفي حالة أورانوس ونبتون، وكتلتاهما أقلُّ من كتلة المشتري وزحل، فيدوران حول نفسيهما في ١٦ أو ١٧ ساعة. وأخيرًا هناك المريخ، الذي هو أصغر كثيرًا من أيٍّ من الكواكب العملاقة، ويدور حول نفسه في ٢٤ ساعة و٣٧ دقيقة. لكن رغم أن كوكب الأرض أكبر في كتلته من المريخ بنحو عشر مرات، فإنه يدور حول نفسه في الوقت ذاته تقريبًا. ما سبب الدوران البطيء لكوكب الأرض حول نفسه؟

> يحدث الظهور الأدنى ارتفاعًا للبدر في أقرب وقت من اليوم الأول من أيام الصيف؛ ولهذا السبب يبدو البدر وقتها أكبر حجمًا ومتَّسمًا بألوان أكثر («ممارسة الحب تحت بدر شهر العسل في يونيو»).

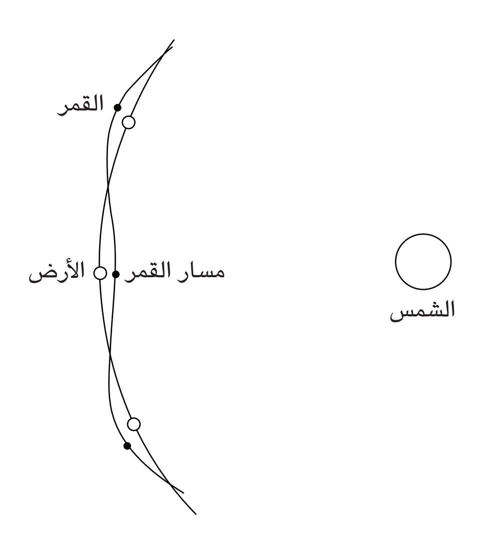
## (٢٤) هل تستطيع الشمس أن تسرق القمر؟

إذا كان أحد الأجرام يبعد عن الأرض مسافة تزيد عن ٢٥٩٠٠٠ كيلومتر، فسينجذب بواسطة الشمس بدرجة أكبر من انجذابه بواسطة الأرض، وهو ما يمكن التحقُّق منه باستخدام قانون التربيع العكسي للجذب العام. متوسط المسافة بين الأرض والقمر هو ٣٨٤٤٠٠ كيلومتر، وهي مسافة أكبر بكثير من ٢٥٩٠٠٠ كيلومتر؛ ومن ثم ينجذب القمر بواسطة الشمس بدرجة أكبر من انجذابه بواسطة الأرض؛ بل في الواقع، سيزيد تأثير الشمس بأكثر من الضعف. لماذا إذن لا تسرق الشمسُ القمرَ من الأرض؟

> تبلغ النسبة بين تأثير القمر على المد والجزر بالمحيطات إلى تأثير الشمس نحو ٧ / ٣. ويمكننا أن نبين أن النسبة ٧ / ٣ يجب أيضًا أن تكون نسبة متوسط كثافة القمر إلى الشمس، ٣٫٣٤ جرامات لكل سنتيمتر مكعب/١٫٤١ جرام لكل سنتيمتر مكعب.

## (٢٥) مسار القمر حول الشمس

يوضِّح الشكل مقطعًا من مدار الأرض حول الشمس، مع مدار القمر حول الأرض. إلى جانب أن الشكل غير مرسوم وفق الأبعاد الحقيقية، هل هناك أي شيء خطأ على نحو جوهري؟



شهر واحد فقط مرَّ دون بدر، وهو شهر فبراير من عام ١٨٦٦م، وهو حدث لن يتكرَّر لمدة مليونَي عام ونصف المليون.

## (٢٦) البدر

رغم أن المناطق المضاءة بالقمر وهو في طور البدر لا تتجاوز في حجمها ضعف المناطق المضاءة وهو في التربيع الأول أو الأخير، فإن القمر البدر يكون أشد سطوعًا بتسع مرات. لماذا؟

كل هذا الحديث عن السفر في الفضاء هو محض هراء، حقًّا.

ريتشارد وولي (عالم فلك إنجليزي بالجمعية الملكية، ١٩٥٦م)

## (٢٧) الخداع البصري القمري

قليلةٌ هي المشاهدُ التي تُضاهِي مشهد البدر وهو على ارتفاع خفيض فوق الأفق. لكن يبدو القمر أكبر بكثير حين يكون عاليًا في السماء. ولا يمكن عزو هذا التأثير إلى الظروف الجوية؛ نظرًا لأن القمر يبدو في الصور الفوتوغرافية بالحجم عينه، نحو ٠٫٥ درجة قوسية. في الواقع، يكون القمر فعليًّا أقرب قليلًا بمقدار نصف قطر الأرض حين يكون في كبد السماء!

ثمة تفسير آخر، وهو متقدِّم نوعًا ما، يقضي بأن العين تُخدَع بمقارنة قمر الأفق بالأجسام القريبة؛ المباني والأشجار والتلال وغيرها. لكن لا يمكن أن يصحَّ هذا التفسير؛ لأن هذا الخداع رُصد فوق الماء والصحراء؛ حيث لا وجود لأي أجسام أرضية مألوفة من أجل المقارنة. ما التفسير الصحيح؟

كوكب الأرض هو الكوكب الأعلى كثافةً؛ إذ تبلغ كثافته ٥٫٥٢ جرامات لكل سنتيمتر مكعب؛ لذا من المؤكد أن به قدرًا كبيرًا من عنصر الحديد. على النقيض، القمر أقل كثافة بكثير؛ إذ تبلغ كثافته

٣٫٣٤ جرامات لكل سنتيمتر مكعب؛ ومن ثم فهو يتكوَّن في الغالب من صخور. أما كوكب عطارد — على نحو أشبه بالأرض وخلافًا للقمر — فكثافته عالية؛ إذ تبلغ ٥٫٤٤ جرامات لكل سنتيمتر مكعب؛ لذا من المؤكد أن به الكثير من عنصر الحديد. في الواقع، يملك كوكب عطارد من الحديد قدرًا أكبر بكثير من ذلك الذي تملكه الأرض. والكثافة «غير المضغوطة» لعطارد، التي نحصل عليها عن طريق حساب الحجم دون تأثير وزن الكوكب، أعلى من تلك الخاصة بالأرض أو أي كوكب آخر؛ إذ تبلغ ٥٫٣ جرامات لكل سنتيمتر مكعب، مقارنةً بـ ٤٫٤ جرامات لكل سنتيمتر مكعب في حالة الأرض. من المؤكد أن عطارد يملك قلبًا ضخمًا من عنصر الحديد، يناهز في حجمه حجم الكوكب نفسه.

## (٢٨) تحديد حجم كوكبات النجوم

يبدو القمر والشمس أكبر حجمًا حين يكونان قريبَيْنِ من الأفق. هل يحدث التأثير عينه مع النجوم؟ بعبارة أخرى: هل «تتمدَّد» كوكبات النجوم مع اقترابها من الأفق؟

في طور الهلال، يكون كوكب الزهرة في بعض الأحيان ساطعًا للغاية، لدرجة أنه يمكن أن يكون مرئيًّا في منتصف النهار، بل ومن الممكن أن يلقي بظلال.

## (٢٩) القمر المقلوب

هل يرى قاطنو نصف الكرة الأرضية الجنوبي القمرَ مقلوبًا؟

في أي موضع على كوكب الأرض، يحدث كسوف شمسيٌّ كليٌّ مرة واحدة كل ٣٦٠ عامًا.

## (٣٠) كم يبلغ ارتفاع القمر؟

في فصل الشتاء، تكون الشمس منخفضة في السماء. وإذا كان كلٌّ من القمر والكواكب قريبًا من دائرة الكسوف، وهي المسار الظاهري للشمس في السماء، فلماذا لا يظهر القمر منخفضًا في السماء هو الآخر؟

يتلقى كوكب الزهرة من الإشعاع الشمسي ١٫٩ مرة قدْر ما يتلقاه كوكب الأرض، بَيْد أن السُّحُب الحِمضية الكبريتية للزهرة تعكس نحو ٨٠ بالمائة من ضوء الشمس ذاك؛ ومن ثم يمتص الزهرة في الواقع قدرًا أقل بكثير من الطاقة الشمسية مقارنةً بالأرض. ومن دون ثاني أكسيد الكربون الذي يتسبب في تأثير الصُّوبة، سيكون كوكب الزهرة أبرد من الأرض وأدفأ بدرجة طفيفة من المريخ.

## (٣١) «شروق الأرض» على القمر

هل يمكننا أن نرى «شروق» الأرض أو «غروبها» مِن على القمر؟

إن احتمالية أن يكون المريخ مسكونًا في وقتنا الحالي من جانب جنس أرقى من جنسنا البشري لهي احتمالية مرتفعة للغاية.

كاميل فلاماريون (مؤسس الجمعية الفلكية الفرنسية، ١٨٩٢م)

## (٣٢) رؤية عطارد والزهرة

لماذا يختفي كوكبا عطارد والزهرة عن النظر بالليل؟

أقصر فترة معروفة لدوران كويكب حول نفسه نجدها لدى الكويكب إيكاروس ١٥٦٦ (وتبلغ ساعتين وستَّ عشرة دقيقة). أما أبطأ الكويكبات دورانًا حول نفسه فهو الكويكب جلوك ٢٨٠ (وتبلغ فترة دورانه حول نفسه ١٥٠٠ ساعة).

## (٣٣) كثافة الأرض

يبلغ متوسط كثافة كوكب الأرض ٥٫٥٢ جرامات لكل سنتيمتر مكعب؛ أي إنه أكثر كثافةً من الماء بـ ٥٫٥٢ مرات. على النقيض من ذلك، الكواكب الغازية الأربعة العملاقة لها كثافات أقل بكثير؛ إذ تبلغ كثافة نبتون ١٫٦٤ جرام لكل سنتيمتر مكعب، والمشتري

١٫٣٣ جرام لكل سنتيمتر مكعب، وأورانوس ١٫٢٩ جرام لكل سنتيمتر مكعب، وزحل ٠٫٦٩ جرام لكل سنتيمتر مكعب. من المفترض إذن أن يطفو كوكب زحل على الماء! ما السبب وراء هذا الاختلاف الكبير عن كثافة الأرض؟

## (٣٤) الشروق من الغرب

هل هناك أي أجرام في المجموعة الشمسية تُشرق من الغرب وتَغرُب في الشرق من منظور الراصدين الموجودين على كواكب مختلفة؟

> يؤسفني أن أقول إن هناك قدرًا كبيرًا للغاية من الوجاهة في المُزْحة التي تقول إن الحياة قد انقرضت من على الكواكب الأخرى؛ لأن علماء تلك الكواكب كانوا متقدمين بدرجة كبيرة عن علمائنا.
>
> جون إف كينيدي

## (٣٥) جبال المريخ العالية

أعلى جبل على الأرض هو جبل إفرست، لكن بركان مونا كيا في هاواي، الذي يرتفع ٣٣٤٠٠ قدم عن قاع المحيط، يفوق في ارتفاعه جبل إفرست بأكثر من ٤ آلاف قدم. لكن لا يظهر من بركان مونا كيا فوق السطح إلا ١٣٧٩٦ قدمًا فقط. لكن الأمر المثير للدهشة هو أن أعلى جبل على سطح المريخ، المخروط البركاني المعروف باسم قمة أوليمبوس، يبلغ ارتفاعه ما لا يقل عن ٨٠ ألف قدم، ويبلغ قُطر قاعدته ٣٥٠ ميلًا. يبلغ حجم المريخ نحو نصف حجم الأرض؛ ومع ذلك بعض جباله أعلى كثيرًا من جبالنا. فهل من تفسير لذلك؟

## (٣٦) الذهاب إلى المريخ عن طريق الزهرة!*

استخدم المسباران الأمريكيان «مارينر» و«فايكنج» مناورة مدار هوهمان الانتقالي التقليدية، التي تقلِّل من الهدر في الوقود وتجعل المسابير تتبع مسارًا على شكل قطع ناقص مماسي لمدارَي كلٍّ من الأرض والمريخ. تستغرق الرحلة سبعة أشهر ونصف الشهر. ومع ذلك، من أجل العودة مجددًا إلى الأرض، على البَعثة أن تنتظر عامًا وأربعة

أشهر كي يصطف الأرض والمريخ مجدَّدًا من أجل رحلة العودة. وبهذا يصير زمن رحلة الذهاب والإياب عامين ونصف العام! لكن الأمر المثير للدهشة هو أن السبيل السريع للذهاب إلى المريخ يقتضي أن يتم ذلك عن طريق كوكب الزهرة. كيف يمكن تحقيق هذا الأمر؟

> عبر الفضاء يتفهَّمني الكون ويبتلعني كَذَرَّة غبار، ومن خلال الفكر أتفهم أنا الكون.
>
> باسكال بانسيه

## (٣٧) أين أنت؟*

افترِضْ أنك داخل غرفة عديمة النوافذ على متن محطة فضائية على شكل عجلة. تدور المحطة حول محورها كي تحافظ على وجود الجاذبية الاصطناعية. ما الاختبار البسيط الذي يمكنك القيام به كي تقنع نفسك بأنك على متن محطة فضائية لا على الأرض؟

> أول جائزة رُصدت للتواصل مع كائنات غير أرضية كانت جائزة جوزمان، وأُعلن عنها في باريس في السابع عشر من ديسمبر عام ١٩٠٠م. كان مبلغ الجائزة ١٠٠ ألف فرنك فرنسي، لكن استُثني المريخ منها بسبب الشعور بأن التواصل مع المريخيين سيكون أيسر مما ينبغي!
>
> باتريك مور

## (٣٨) هل كان جاليليو محقًّا؟*

يقال إن إحدى أهم الطفرات الجوهرية في عالم الفيزياء قد حدثت حين اكتشف جاليليو أنه بغضِّ النظر عن مقاومة الهواء فإن جميع الأجسام تسقط بالعجلة نفسها. لكن هل هذه النتيجة فعلًا ليست لها علاقة بكتلة الجسم الساقط؟ ماذا لو كان الجسم كبيرًا، في حجم كويكب ضخم مثلًا؟

رغم أن القمر أصغر كثيرًا من الأرض (حوالي ربع نصف قطر الأرض) فإن الدوران حول القمر في أدنى مدار يستغرق ١٠٨ دقائق، مقارنةً بـ ٨٤ دقيقة في حالة الأرض. سبب ذلك أن الجاذبية السطحية على القمر أقل ست مرات من الجاذبية على الأرض.

# الإجابات

الفصل الأول

# درجة الحرارة

## (١) تجربة التُّرمُس

صُبَّ نصف الماء البارد الموجود في التُّرمس (ب) في الوعاء (د) ثم أدخِل الوعاء (د) في التُّرمس (أ). درجة الحرارة النهائية للماء في كلٍّ من التُّرمس (أ) والوعاء (د) ستكون ٦٠ درجة مئوية. بعد ذلك صُبَّ الماء الموجود في الوعاء (د)، الذي تبلغ درجة حرارته ٦٠ درجة مئوية، في التُّرمس (ج). كرِّر الخطوات مع النصف الثاني من الماء البارد الموجود في الترمس (ب)، مستخدِمًا التُّرمس (أ) والوعاء (د). ستكون درجة الحرارة النهائية في الوعاء (د) والتُّرمس (أ) حوالي ٤٧ درجة مئوية. بعد ذلك صُبَّ الماء الموجود في الوعاء (د) في التُّرمس (ج)، وستكون درجة الحرارة النهائية للتر الماء الموجود في التُّرمس (ج) حوالي ٥٣ درجة مئوية. أما الماء الموجود في التُّرمس (أ) فستكون حرارته ٤٧ درجة مئوية.

## (٢) غلي الماء بالماء المغلي

الجواب هو: لا. يغلي الماء الصافي عند ١٠٠ درجة مئوية. وحين يصل الماء الموجود في الوعاء الأصغر إلى درجة حرارة ١٠٠ درجة مئوية، لن تنتقل أيُّ طاقة حرارية من الماء المغلي إلى الماء الموجود في الوعاء الأصغر الذي درجة حرارته ١٠٠ درجة مئوية. يستلزم تحويل الماء إلى بخار عند حرارة ١٠٠ درجة مئوية ٥٨٠ سُعرًا حراريًّا إضافيًّا لكل جرام. ومن ثم، لا يحدث أيُّ غليان.

## (٣) الغاز والبخار

نعم، هناك فارق. فالبخار هو غاز تحت درجة الحرارة الحرجة. في حالة الماء تكون درجة الحرارة الحرجة ٣٧٤ درجة مئوية. وفوق هذه الدرجة لن يتكثَّف بخار الماء على صورة قُطَيرات، مهما كان مقدار الضغط المعرَّض له.

عادةً ما تُستخدم كلمة «بخار الماء» للإشارة إلى كلٍّ من بخار الماء غير المرئي والشبورة المرئية من قُطَيرات الماء. وبخار الماء هو البخار الذي يتصاعد من الماء عند درجة الغليان أو ما فوقها؛ أي عند ١٠٠ درجة مئوية. وفي خبراتنا الحياتية اليومية، نرى بخار الماء وهو يتصاعد من غلاية الشاي!

## (٤) ثلج في ماء مغلي

يظل الماء الموجود في قاع الأنبوب فاترًا بما يكفي كي يذوب الثلج ببطء شديد للغاية. الماء الساخن في الأعلى أقل كثافة ويظل في الأعلى، وتَحُدُّ الموصلية الرديئة للماء من معدَّل نقل الطاقة الحرارية إلى قطعة الثلج بالأسفل؛ وبذا تعمل العوامل الفيزيائية المهمة في صالح قطعة الثلج.

*Iona, M. "Another View by Iona."* Physics Teacher *28 (1990): 444–445.*

## (٥) قُطَيْرتان من الزئبق

لنفترض أننا في حالة مثالية لا يحدث فيها انتقال للحرارة من القُطَيْرتين إلى البيئة المحيطة بهما. يمكننا الجزم بأن مساحة سطح القُطَيْرة الجديدة أقل من مساحة سطح القُطَيْرتين الأصليَّتَيْن. والنقص في مساحة السطح يعني نقصًا في طاقة التوتر السطحي المطلوبة لجذب الزئبق كله حتى يحافظ على شكله. ومن ثم ترفع الطاقة الإضافية درجة حرارة القُطَيْرة النهائية. وإذا حدثت هذه العملية على سطح مستوٍ فاتر الحرارة، على غرار لوح زجاجي، على المرء أيضًا أن يتدبَّر تغيُّرات طاقة وضع الجاذبية، ومن الممكن حتى أن يكون التغيُّر في درجة الحرارة أكبر.

## (٦) الطائر الزجاجي

يحصل الطائر الزجاجي المعروف على طاقته من الاختلاف في درجة الحرارة بين جسمه ورأسه. يكون الانتفاخ الزجاجي في درجة حرارة الغرفة، أما الرأس فيكون أبرد بسبب تبخُّر الماء من مساحة السطح الكبيرة للمادة الموجودة خارج رأسه ومنقاره. في ظل هذا الاختلاف في درجة الحرارة، يكون ضغط البخار في جزء الجسم أكبر من الضغط الموجود داخل الرأس؛ ومن ثم يُدفَع بعض كلوريد الميثيلين إلى أعلى الأنبوب، مغيِّرًا موضع مركز الجاذبية؛ بحيث ينزل الرأس لأسفل وينغمس المنقار في الماء. وفي ذلك الموضع، يكون الطرف السفلي للأنبوب معرَّضًا للبخار، ويتسرَّب السائل مجدَّدًا إلى الانتفاخ الزجاجي في قاع الجسم؛ ومن ثم ينتصب الطائر، وتبدأ الدورة من جديد.


*Bachhuber, C. "Energy from the Evaporation of Water."* American Journal of Physics *51 (1983): 259–265.*

*Crane, H. R. "What Does the Drinking Bird Know about Jet Lag?"* Physics Teacher *27 (1989): 470.*

*Mentzer, R. "The Drinking Bird: The Little Heat Engine That Could."* Physics Teacher *31 (1993): 126.*


## (٧) حرارة الغرفة

على عكس المتوقَّع، ستظل الطاقة الإجمالية للهواء في الغرفة كما هي. فحين تُزاد حرارة الهواء بواسطة المدفأة، يتمدَّد الهواء الموجود داخل الغرفة ويتسرَّب بعضُه إلى الخارج عبر المسامِّ والشقوق الموجودة في الجدران. وهذا الهواء المتسرِّب يحمل معه الطاقة التي أضافتها عملية التدفئة.

في حالة معاملة الهواء معاملة الغاز المثالي، فإنه في حالة ثبات الضغط يكون محتوى طاقة الهواء الموجود داخل الغرفة مستقلًّا عن درجة الحرارة. ومن واقع العلاقة $PV = nRT$ تعرف أن الزيادة في الحجم $V$ تتناسب طرديًّا مع الزيادة في درجة الحرارة $T$ عند ثبات مستوى الضغط $P$. $R$ هو ثابت الغاز، و$n$ هو عدد مولات الغاز في الحالة المثالية. تخيَّل الغرفة وقد تمدَّدت إلى حجمها الجديد الأكبر بينما هي تحمل العدد عينه من المولات $n$. إذا اقتطعتَ من هذا الحجم الأكبر غرفةً لها ذات الحجم الأصلي، فإنك بهذا

ستكون قد قلَّلت العدد $n$ بالمعامل نفسه. ومن ثم تخبرنا علاقة الغاز المثالي أن الطاقة الإجمالية هي نفسها كما سبق.

## (٨) الارتجاف في درجة حرارة الغرفة

الارتجاف ليس استجابة الجسم الطبيعية؛ لأنه لا يحدث نقل كثير للطاقة الحرارية في كل ثانية. وعلى سبيل التبسيط، سنتجاهل التأثيرات الحرارية المرتبطة بارتداء الملابس. وهنا يكون لدينا ثلاثة عوامل على الأقل يجب وضعها في الحسبان:

(١) سطح الجلد يكون في درجة حرارة أقل بكثير من درجة حرارة الجسم الداخلية البالغة ٣٧ درجة مئوية.
(٢) الهواء موصِّل رديء للحرارة، ودون تيارات حمل حراري يكون نقل الطاقة الحرارية بواسطة موصلية الهواء غير كفء.
(٣) تبخُّر الماء من سطح الجلد يعتمد على سرعة الهواء بالجوار. إذا كان الهواء ساكنًا، تتكوَّن طبقة ساكنة من الهواء الدافئ على الجلد، ويكون معدَّل التبخُّر صغيرًا. لكن نسمة هواء لطيفة سرعتها ٣ أميال في الساعة تضاعِف تأثير التبرُّد الريحي عند مقارنتها بالهواء الذي يتحرَّك بسرعةٍ تقلُّ عن ميل واحد في الساعة.

## (٩) تسخين كرتين متماثلتين

الجواب هو: لا؛ فالكرة المعلَّقة ستكون أدفأ. التغيرات في طاقة وضع الجاذبية للكرتين ستكون مختلفة مع تمدُّد الكرتين. بعضٌ من الطاقة الحرارية سيعمل على رفع مركز الجاذبية للكرة الموضوعة على الطاولة؛ بحيث ترتفع حرارتها بدرجة أقل من المتوقَّع. يعمل تمدُّد الكرة المعلَّقة على خفض مركز جاذبيتها؛ بحيث ترتفع حرارتها بدرجة أكبر من المتوقَّع.

## (١٠) شواء الهمبورجر

ينضج الهمبورجر على نحو أسرع حين لا تكون الطبقة الخارجية محترقة، وهو ما يحدث عادةً عند طَهْيِه على نار عالية على الشواية. فاللحم المحترق في الطبقة الخارجية

موصِّل رديء للحرارة؛ ومن ثم يستغرق اللحم بالداخل وقتًا أطول في الوصول إلى درجة الحرارة المطلوبة. وتعلِّمنا الخبرة هذه القاعدة الحكيمة: الهمبورجر الذي يُشوَى ببطء ينضج على نحو أسرع.

## (١١) شواء الهمبورجر مقارنةً بشواء قطعة لحم صافية

في حالة قطعة اللحم الصافية، معظم بكتيريا السطح ستكون موجودة على المنطقة الخارجية لا الداخلية، وستُقتَل بسرعة عند تسخين قطعة اللحم. أما في حالة اللحم المفري، فإن بكتيريا السطح منتشرة داخل شطيرة الهمبورجر؛ لذا يجب شواء الهمبورجر بشكل تام من أجل القضاء على هذه البكتيريا.

## (١٢) الأميال المقطوعة

جالون البنزين البارد يجعل السيارة تقطع عددًا أكبر من الأميال؛ لأنه يحتوي على المزيد من الجزيئات. شأن غيره من المواد، يتمدَّد البنزين عندما تزيد درجة حرارته. وإذا لم يتمدَّد وعاء القياس هو الآخر لتعويض الزيادة بالضبط، فلن يؤدي جالون البنزين الفاتر إلى قَطْع العدد نفسه من الأميال.

## (١٣) النقطة الثلاثية للماء

عند درجة حرارة ٢٧٣٫١٦ درجة كلفنية توجد أطوار الماء الثلاثة كلها — الصُّلبة والسائلة والغازية — معًا في حالة توازن في وعاء مغلق دون وجود أي مادة أخرى. يُنتِج بخار الماء المشبع الضغط. وإذا تم اكتساب، أو فَقْد، قدر طفيف من الطاقة الحرارية من البيئة المحيطة أو إليها، فستظل درجة الحرارة كما هي. وإذا دخل بعض الطاقة إلى النظام، فسيذوب بعض الثلج كي يقلِّل حجم الطَّورين السائل والصلب بقدر طفيف، لكن سيحدث قدرٌ إضافيٌّ قليلٌ من التبخر للحفاظ على ثبات الضغط.

## (١٤) أخلاط الأملاح الباردة

غالبية الأخلاط المتجمدة المكوَّنة من الملح والثلج توظِّف المواد عينها من أجل توفير الطاقة الحرارية كي تذيب نفسها. فبادئ ذي بدء، إضافة الملح إلى الماء تُخفِّض درجة

تجمد الماء؛ لأن جزيئات الملح (وأيوناته) تدخل بين جزيئات الماء كي تعيق محاولاتها للارتباط. ومن ثم سيذوب بعضٌ من الملح بصورة فورية، وهو تغيُّر فيزيائي يتطلَّب ٨٠ سُعرًا حراريًّا لكل جرام من الثلج. هذه الطاقة سوف تُنقَل من الثلج غير الذائب والماء المجاورين. وتضمن تأثيرات الترشيح حدوث الخلط بصورة جيدة؛ بحيث إنه حتى آخر حبيبات الثلج المجروش ستذوب كي تصنع محلولًا ملحيًّا باردًا للغاية.

على المستوى المجهري، تكون بعض طاقة النقل الأصلية لجزيئات الماء قد زادت من طاقة الوضع الكهربائية لجزيئات الثلج. وبما أن طاقة الحركة العشوائية الأصلية لجزيئات الماء تتقاسمها الآن جزيئات الماء الأصلية وتلك الجزيئات المرتبطة في البداية داخل الثلج، فإن متوسط طاقة الحركة العشوائية لكل جزيء يكون أقل (بمعنى أن درجة حرارة الخليط تكون أقل).

## (١٥) تبريد أم تدفئة؟

عند النفخ في يديك برفق، أنت تُخرِج ثاني أكسيد الكربون البالغ درجة حرارته ٣٧ درجة مئوية من رئتيك كي تدفئ الجلدَ ذا درجة الحرارة الأقل في يديك. أما عند النفخ بقوة في يديك فيحدث أمران: (١) يُدفَع هواء الغرفة الأبرد إلى تيار الهواء بواسطة تأثير برنولي. (٢) يكون هناك المزيد من البخر من الجلد لكل ثانية، وهو ما يتطلَّب طاقة حرارية من السطح. وهذان التأثيران يعطيان إحساسًا بالبرودة.

## (١٦) تكييف الهواء في الطائرات الحديثة

استخلاص الهواء النقي من خارج الطائرة على ارتفاع ٣٠ ألف قدم أمرٌ مكلِّف من منظور الطاقة. فالهواء النقي يجب أولًا أن يُضغَط إلى ما يقارب وحدة ضغط جوي واحدة، وهو ما يرفع درجة حرارته بدرجة كبيرة فوق درجة الحرارة الطبيعية لكبائن الطائرات، ثم يُبرَّد حتى درجة الحرارة الملائمة. وهاتان العمليتان كلتاهما تتطلَّبان مقدارًا كبيرًا من طاقة الوقود، وهو ما يمكن استخدامه في الطيران لمسافة أكبر. ومن ثم، يمكن توفير الوقود عن طريق إعادة تدوير نسبة كبيرة من الهواء وجلب نسبة أقل من الهواء النقي لكل ميل من السفر. يزعم البعض أن هذه الزيادة في إعادة تدوير الهواء في درجة حرارة الغرفة تؤدِّي أيضًا إلى إعادة تدوير المزيد من البكتيريا، وهو ما يمكن أن يسبِّب مشكلات صحية.

## (١٧) لهب الشمعة

تنطفئ الشمعة ويرتفع مستوى الماء في الكوب. مع احتراق الشعلة، يصير الغاز الموجود داخل الكوب دافئًا ويتمدَّد. بعض الغاز سيخرج من تحت فوهة الكوب على صورة فقاقيع (من شأن إلقاء نظرة حريصة على الفقاقيع أن يؤكد هذه العملية). وحين يقلُّ اللهب بفعل قلَّة الأكسجين، يبرد الجزء المتبقي من الغاز المحتبَس، ويقل ضغطه، ويَدفع الضغط الجوي المحيط المزيدَ من الماء داخل الكوب. وفي النهاية لا يتبقَّى أي أكسجين لعملية الاحتراق؛ ومن ثم ينطفئ لهب الشمعة.

يعتقد الكثيرون مخطئين أن جزيئات الأكسجين المحترق مع جزيئات الهيدروكربون الخاصة بشمع الشمعة الآخذة في التبخر تقلِّل من عدد الجزيئات في الغاز الموجود فوق السائل. بَيْد أن هذا ليس صحيحًا. فسيكون عدد الجزيئات الناتجة عن عملية الاحتراق هذه أكبرَ من عدد الجزيئات المتفاعلة في البداية. كمثال، انظر إلى المعادلة الكيميائية الموزونة:

$$2C_6H_{14} + 19O_2 \longrightarrow 12CO_2 + 14HOH,$$

حيث ينتِج ٢١ جزيئًا في بداية التفاعل ٢٦ جزيئًا في نهايته.

## (١٨) مكبسٌ في كأسٍ زجاجية

الفضاء المغلق فوق سطح السائل يحتوي على البخار المشبع الخاص به. إذا رُفع المكبس ببطء، يُملأ الفضاء إلى الضغط الجوي بواسطة بخار الماء المشبع؛ ومن ثم، لا يتغيَّر مستوى الماء داخل الأنبوب.

أما إذا رُفع المكبس بسرعة، فسيكون ضغط البخار داخل الأنبوب أقل من الضغط الجوي؛ لأن بخار الماء لن يتكوَّن بالسرعة الكافية. ومن ثم يرتفع الماء حتى ارتفاع يُعادل معه الضغط الجوي بواسطة مجموع الضغط الهيدروستاتيكي وضغط البخار المشبع. وفي النهاية، سيقوم ضغط بخار الماء بدفع الماء لأسفل مجددًا. في حالة الماء المغلي، سيظل ضغط البخار ثابتًا؛ سواء ارتفع المكبس بسرعة أم ببطء.

## (١٩) قهوة باللبن

تكشف النتائج التجريبية أن القهوة السادة تبرد أسرع من القهوة باللبن في ظل نفس الظروف، وذلك بنسبة تصل إلى نحو ٢٠ بالمائة. إن أيَّ هبَّة هواء يمكن أن يكون لها تأثير بالغ على معدل التبريد؛ لذا يجب عقد المقارنات في الهواء الساكن وأن تكون ظروف العزل واحدة. يتناسب وقت التبريد إذن تناسبًا طرديًّا بالتقريب مع نسبة الحجم إلى مساحة السطح الإجمالية للسائل، وذلك في ظل تساوي الظروف الأخرى كافة. ينص قانون نيوتن للتبريد على أن معدل التبريد يتناسب طرديًّا مع الفارق في درجة الحرارة بين السطح الخارجي لقدح القهوة والهواء المحيط. وهذا القانون يصحُّ على الدوام تقريبًا.

وفي ظل معظم الظروف داخل المنازل، على المرء أن يضيف اللبن أولًا إذا كان وقت الانتظار أقل من عشر دقائق أو نحو ذلك. ورغم أن انحدار منحنَيي التبريد مختلفان، فإنهما لا يتقاطعان؛ لأن الحرارة تقل بقِيَم أُسِّيَّة.

*Rees, W. G., and C. Viney. "On Cooling Tea and Coffee."* American Journal of Physics *56 (1988): 434–437.*

## (٢٠) لغز الطاقة

لقد تحوَّل نصف طاقة وضع الجاذبية إلى طاقة حرارية بواسطة الاحتكاك الداخلي والاحتكاك مع الجدران. ومن دون الاحتكاك سيظل السائل يتأرجح بين الوعاءَيْنِ إلى الأبد.

## (٢١) إزالة الرطوبة

عندما يبرد الهواء الدافئ، تتكوَّن قُطَيرات ماء دقيقة من بخار الماء. سيحدث المزيد من التصادمات البطيئة السرعة بين جزيئات الماء على درجات الحرارة الأكثر انخفاضًا؛ ومن ثم يتكثَّف المزيد منها على صورة قُطَيرات ماء. الهواء البارد الرطب ليس مريحًا مثل الهواء البارد الأكثر جفافًا؛ لذا تكون إزالة الرطوبة عملية ضرورية.

## (٢٢) تبريد الهواء بواسطة الثلاجة

في البداية، سيؤدِّي الهواء البارد الموجود داخل الثلاجة إلى تبريد المطبخ بدرجة طفيفة؛ وذلك اعتمادًا على الحجمين النسبيَّين للثلاجة والمطبخ، وعملية الامتزاج، والفارق في درجة الحرارة بينهما. ومع ذلك، عندما يعمل محرِّك الثلاجة مجدَّدًا، سيُطلَق من الطاقة الحرارية إلى داخل المطبخ عن طريق أنابيب التبريد الموجودة خلف الثلاجة مقدارٌ أكبر من مقدار الهواء البارد المنبعث من مقدمة الثلاجة، وذلك على النحو الذي يمليه القانون الثاني للديناميكا الحرارية؛ ومن ثم سيصير المطبخ أدفأ.

## (٢٣) الهواء والماء

رغم أن كُلًّا من الهواء والماء الساكنين يوصِّلان الحرارة على نحو رديء، فإن الماء لا يزال موصِّلًا أفضل للحرارة مقارنة بالهواء. والمعدَّل الأعلى من الطاقة الحرارية «المتدفِّقة» من جسدك إلى ماء حمام السباحة يجعلك تشعر بأن الماء أشد برودةً من الهواء.

## (٢٤) تبريد الماء الساخن والبارد

في ظل ظروف معينة سيبرد الماء الساخن بسرعة أكبر من الماء البارد ويبدأ في التجمد أولًا!

بادئ ذي بدء، لاحِظْ أن الدلوين ليس لهما غطاءان، وتذكَّر أن الخشب موصِّل رديء للغاية للحرارة. تصحُّ الحجة التالية بدرجة كبيرة في حالة الدلوين الخشبيَّتين، لكنها لن تصحَّ بنفس الدرجة لو كانت الدلوان مصنوعتين من مادة موصِّلة جيدًا للحرارة.

التأثير المبرِّد الأساسي هو البخر السريع من السطح العلوي للماء الساخن، متبوعًا باختلاط كبير للماء البارد والساخن من القمة وصولًا إلى القاع. يتسبَّب البخر إضافةً إلى الحمل الحراري في وجود معدل سريع من نقل الطاقة الحرارية إلى البيئة المحيطة لو كانت درجة الحرارة الابتدائية مرتفعة بما يكفي. في حالة هاتين الدلوين الخشبيَّتين يكون معدَّل نقل الطاقة الحرارية أكبر بعدة مرات من معدَّل النقل بواسطة التوصيل من خلال الجدران الخشبية للدلوين. علاوةً على ذلك، قد يتبخر ما يصل إلى ٢٦ بالمائة من الماء في دلو الماء الساخن تمامًا، وهو ما يترك كمية أقل من الماء للتجمُّد.

كما أوضحنا، فإن فقدان الكتلة الذي يتسبَّب فيه البخر أثناء التبريد يكون كبيرًا. وكمثال متطرِّف على الأمر، الماء الذي يبرد من درجة حرارة ١٠٠ درجة مئوية إلى درجة

الصفر المئوي سيفقد ١٦ بالمائة من كتلته، و١٢ بالمائة أخرى من الماء ستُفقَد في عملية التجمد؛ ومن ثم يبلغ إجمالي الفَقْد في الكتلة: ١٦٪ + ١٢٪ × (١٠٠ – ١٦) = ٢٦٪.

كان فرانسيس بيكون قد تحدَّث عن هذا التبريد السريع للماء الساخن في كتابه «الأداة الجديدة» (١٦٢٠م). وفي المناطق التي تشهد فصول شتاء طويلة، مثل كندا والدول الاسكندنافية، صار الأمر جزءًا من الموروث الشعبي المألوف. على سبيل المثال، يُعتقد أنه ينبغي ألا تغسل السيارة بالماء الساخن؛ لأن الماء سيتجمد وقتها على السيارة بسرعة أكبر مما لو غُسلت بالماء البارد، كما أنه ينبغي غمر حلبة التزلج على الجليد بالماء الساخن؛ لأنه سيتجمد بسرعة أكبر من الماء البارد.

*Auerbach, D. "Supercooling and the Mpemba Effect: When Hot Water Freezes Quicker Than Cold."* American Journal of Physics *63 (1995): 882–885.*

*Chalmers, B. "How Water Freezes."* Scientific American *238 (1959): 114–122.*

## (٢٥) التزلج على الجليد في يوم بارد للغاية

يكون معامل الاحتكاك الساكن أكبر بكثير حين يكون سطح الجليد أشد برودةً؛ ومن ثم، ستكون القيمة القصوى للاحتكاك الساكن أكبر بكثير هي الأخرى؛ وبذا يصير التزلُّج صعبًا للغاية.

ملحوظة: سطح الجليد الذي تُقارِب حرارته الصفر المئوي يكون دائمًا مغطًّى بطبقة رقيقة من الماء تخفِّف الاحتكاك بين سطح الجليد والزلَّاجات. في الواقع، كل المواد الصُّلبة البسيطة تغطِّي أسطُحَها طبقةٌ رقيقة من السائل، حتى وهي في درجة حرارة تقل كثيرًا عن نقطة انصهارها؛ وسبب هذا هو أن الطاقة الحرة للسطح تقلُّ عندما تكون طبقة السطح الرقيقة في الحالة السائلة.

أيضًا لاحظ أنه لا يوجد تحقُّق تجريبي من أن الضغط الواقع على مساحة الاتصال الصغيرة الخاصة بمزلجة الجليد يبلغ من القوة ما يكفي لأن يتسبَّب في ذوبان بعض الجليد على السطح. ومن المعروف أن ضغطًا مقداره نحو ١٤٠ وحدة ضغط جوي

سيكون مطلوبًا للتسبُّب في انصهار الجليد، وهو مقدار أكبر بكثير من ذلك الذي تتسبَّب فيه المزلجة الحادة!

*Wettlaufer, J. S., and J. G. Dash. "Melting Below Zero."* Scientific American *282 (2000): 50–53.*

*White, J. D. "The Role of Surface Melting in Ice Skating."* Physics Teacher *30 (1992): 495–497.*

## (٢٦) صرير الثلج

في درجة حرارة تُقارِب الصفر المئوي، تعمل طبقة رقيقة من الماء تغطِّي كلَّ بلَّورة من بلَّورات الجليد على تخفيف الاحتكاك بين البلورات بعضها ببعضٍ عندما يضغط عليها حذاؤك أثناء السير عليها. لكن في درجات الحرارة الأدنى كثيرًا من ذلك لا توجد هذه الطبقة الرقيقة من الماء على بلَّورات الجليد؛ ومن ثم يُصْدِر الاحتكاك بينها — الذي يتسبَّب فيه ضغطُ حذائك — تلك الذبذبةَ الصوتية المسلِّيَة التي نسميها «الصرير».

## (٢٧) التصاق مكعبات الثلج

تتلامس مكعبات الثلج الموضوعة في دلو بعضها مع بعض في مساحات صغيرة. في الأصل، كل مكعب ثلج تغطِّي سطحَه طبقةٌ رقيقة للغاية من الماء، لكن في منطقة التَّمَاسِّ لا يكون هناك مساحة من السطح معرَّضة للهواء؛ ومن ثم يُزال القليل من الطاقة الحرارية من الماء، ويحدث التجمد، وتلتصق مكعبات الثلج معًا، وهي العملية التي تسمَّى «تلبيد الثلج». فما يحدث بالأساس هو أن الطاقة الحرة تتعادل على السطح وفي المادة الصلبة.

## (٢٨) الثلج الساخن

الجواب هو: نعم. عند ٢٠ ألف وحدة ضغط جوي، يذوب الثلج عند حرارة ٧٦ درجة مئوية، وهي درجة كافية لحرق الجلد البشري!

## (٢٩) بِرْكَة والدِن في الشتاء

تَدين الأسماك وكل الكائنات الحية بحياتها لحقيقة أن الماء يتمدَّد بين أربع درجات مئوية وبين الصفر المئوي؛ فلولا ذلك لكانت الحياة بكل صورها قد فَنِيَت خلال أحد العصور الجليدية القديمة.

وإليك السبب: لنبدأ عند درجة حرارة ٦ درجات مئوية لكلٍّ من الماء والهواء ثم نخفض درجة حرارة الهواء الموجود فوق الماء ببطء. عند ٥ درجات مئوية، يصير الماء الموجود على السطح والبالغة درجة حرارته ٥ درجات مئوية أكثرَ كثافة من الماء الموجود أدناه والبالغة درجة حرارته ٦ درجات مئوية؛ ومن ثم يحدث امتزاج؛ بحيث يصعد الماء الأدفأ إلى السطح ويهبط الماء الأبرد إلى القاع. وعند درجة حرارة ٤ درجات مئوية يكون الماء أيضًا أكثر كثافةً؛ لذا تستمر عملية الامتزاج ويهبط الماء الأبرد بحيث تصير حرارة القاع ٤ درجات مئوية.

لكن عند درجة حرارة ٣ درجات مئوية يكون ماء السطح أقل كثافةً؛ لذا يظل هذا الماء البالغة درجة حرارته ٣ درجات مئوية على السطح ولا تحدث عملية الامتزاج. هذا يعني أن الماء في الأعماق المنخفضة لا تقل حرارته عن ٤ درجات مئوية؛ لأنه لم يَعُد بالإمكان أن يبرد على نحو جيد. فالتبريد يحدث وقتها فقط عن طريق التوصيل، وهي عملية رديئة تمامًا مقارنةً بتيارات الحمل الحراري التي كانت تحدث من قبل.

وحين يتكوَّن الجليد على السطح تكون موصليته الحرارية أسوأ من الماء؛ لذا يعمل الجليد عمل العازل الحراري بين الماء والهواء البارد؛ ومن ثم لا يتجمد الماء الموجود أدناه، وتستمر الحياة.

## (٣٠) إطفاء مصابيح الإضاءة

خلال فصل الشتاء لا تتحقَّق من منظور الطاقة أي فائدة من وراء إطفاء مصابيح الإضاءة المتوهجة. أما في فصل الصيف، فالضوء الإضافي يضيف إلى الغرفة طاقة حرارية يجب التخلص منها بواسطة مكيِّف الهواء؛ لذا من المستحسن إطفاء المصابيح الكهربائية.

مصابيح الإضاءة المتوهجة مصادر جيدة جدًّا للحرارة، وحتى الضوء المنبعث منها (نحو ١٠٪ من الطاقة) سيتحول في نهاية المطاف إلى طاقة حرارية عندما تمتصه الجدران والأثاث وغير ذلك من الأشياء.

في فصل الشتاء، يجب تعويض الطاقة الحرارية التي لم تعد توفِّرها المصابيح المطفَأة من خلال منظومة التدفئة، التي لا تكون دومًا في نفس كفاءة عملية توليد ونقل الكهرباء. ومع ذلك، تَرْك المصباح مُضاءً قد يكلفك المزيد من المال؛ لأن الكهرباء تكون عادةً طريقة أكثر تكلفةً لتدفئة المباني. أيضًا، تتكلَّف المصابيح الكهربائية أموالًا عند استبدالها.

*P. A. Bender. "Lights as Heaters."* Physics Teacher *13 (1975): 69.*

## (٣١) غلاية الشاي المعدنية

ليس خطيرًا، ما دام المقبض المعدني مصنوعًا من الصلب الذي لا يصدأ أو أي مادة أخرى توصِّل الطاقة الحرارية على نحو رديء. بعض أنواع الصلب الذي لا يصدأ يُعَدُّ موصِّلًا رديئًا للغاية للحرارة.

## (٣٢) الغسيل المتجمِّد

يتسامى الثلج من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية دون المرور بالحالة السائلة.

## (٣٣) آيس كريم باللبن

يستشعر اللسان وجدران الفم المعدَّلَ الذي تنتقل به الطاقة الحرارية من الأنسجة الحيَّة إلى مزيج الآيس كريم. إذا كان الآيس كريم مكوَّنًا بالأساس من بلَّورات ثلجية مجروشة، فمن شأن إضافة اللبن أن تزيد مساحةَ التلامس على نحو كبير؛ ومن ثم ستستشعر انتقال قدر أكبر من الطاقة الحرارية في كل ثانية. ولهذا تشعر أن المزيج أكثر برودةً. علاوةً على ذلك، السائل موصِّل حراري أفضل بكثير من بلَّورات الثلج، التي ينحبس الهواء الساكن داخلها (بمعنى أنه لا توجد بها تيارات حمل حراري)؛ ولهذا ستشعر أن المزيج أكثر برودةً. وكِلَا التأثيرين يُسهمان في إحساس البرودة.

## (٣٤) ارتداء قبعة في الشتاء

يمكن أن يجري نحو ٣٠ بالمائة من تبريد الجسم عن طريق الرأس. وارتداء قبعة يمكنه أن يقلِّل هذا التبريد على نحو فعال للغاية من أجل المساعدة في الحفاظ على دفء الجسم. وبالمناسبة، كان أرسطو يرى أن الرأس عاملُ تبريد عظيم للجسم.

## (٣٥) ترك السيارة بالخارج

في الليلة الصافية، سقف السيارة «يرى» سماء الليل الكونية، التي لها درجة حرارة مقدارها نحو ٢٨٥ درجة كلفنية؛ ومن ثم يُشِعُّ السقف مقدارًا كبيرًا من الطاقة في كل ثانية ويبرُد. تتكثَّف الرطوبة الموجودة في الهواء أعلى سقف السيارة؛ ولهذا يكون مبلَّلًا في الصباح.

لكن في الليلة الغائمة، لا يستطيع السقف «رؤية» سماء الليل. وبدلًا من هذا فالسقف «يرى» السُّحب، التي تكون حرارتها أعلى من درجة الصفر المئوي (نحو ٣٠٠ درجة كلفنية)؛ لذا يظل السقف محتفظًا بنفس درجة حرارة الهواء المحيط، فلا تتكوَّن أي رطوبة.

## (٣٦) عبوتان معدنيتان من الماء الساخن لهما لونان مختلفان

في حالة تساوي كل العوامل خلاف اللون، يُفترض بالعبوتين كلتيهما أن تبردا بالمعدَّل ذاته. فكَوْن إحدى العبوتين سوداء اللون والأخرى بيضاء في الجزء المرئي من الطَّيف الكهرومغناطيسي لا يعني أنهما مختلفتان من منظور الأشعة تحت الحمراء. والخصائص المتعلِّقة بالأشعة تحت الحمراء، وليست تلك المتعلِّقة بالضوء المرئي، هي التي تحدِّد معدل البرودة بواسطة الإشعاع.

*Bartels, R. A. "Do Darker Objects Really Cool Faster?"* American Journal of Physics *58 (1990): 244–248.*

*Ristinen, R. A. "Some Elementary Energy Questions and (Wrong) Answers."* American Journal of Physics *50 (1982): 466–467.*

## (٣٧) ضوء الشمس

ثمة عاملان على الأقل يحدِّدان درجة حرارة الهواء المحيط في الأمتار القليلة الأولى فوق الأرض؛ وهما: درجة حرارة الأرض ومقدار الطاقة الشمسية المباشرة. في الشتاء تكون حرارة الأرض باردة بالفعل؛ لذا تصير تيارات الهواء الدافئ التي تمرُّ بالقرب من الأرض أكثر برودةً. وفي الشتاء يصطدم ضوء الشمس بسطح الأرض بزاوية تقل عن تسعين درجة؛ لذا يوصَّل مقدار أقل من الطاقة لتدفئة الأرض مقارنةً بالصيف. وكلا التأثيرين يميلان إلى إبقاء الهواء المحيط باردًا باعتدال. أيضًا تحدث تأثيرات التبرُّد الريحي وغيرها من التأثيرات الأخرى.

ملحوظة: على عكس ما ينبِئُنا به الحدْس، يتسبَّب ضوء الشمس في مقدار طفيف للغاية من تسخين الهواء بفعل الامتصاص المباشر.

## (٣٨) مدفأة الفيزيائي

الجواب هو: نعم. فبدلًا من ترك النار تشتعل بين قطع الحطب، على المرء ترتيب قطع الحطب وتدعيمها بحيث يمكنه رؤية أشد المناطق توهُّجًا من مكانه في الغرفة. هذا الترتيب عادةً ما يتطلَّب إزالة قطعة الحطب التي في المقدمة كي تُترك فتحة مكانها، بينما تحتاج قطع الحطب العلوية أن ترتكن على قطع داعمة. في هذه الحالة سينبعث مقدار أكبر من الأشعة تحت الحمراء إلى الحجرة كي يدفئها.

*Walker, J. "... On Making the Most of a Fireplace."* Scientific American *257 (1978): 140–148.*

## (٣٩) إشعاع الجسم الأسود

إشعاع الخلفية الميكروني في الكون تُعادِل درجة حرارته ٢٫٨ درجة كلفنية، ولا يُظهِر أي خطوط امتصاص. أما الإشعاع الصادر عن الفرن فيتشتَّت بفعل خطوط الامتصاص الخاصة بالذرات الموجودة في المادة المصنوع منها الفرن.

### (٤٠) تفرُّد الماء*

عند تبريد الماء فإنه يتمدَّد حتى وصوله إلى الدرجات القليلة الأخيرة فوق درجة التجمُّد. وبالمناسبة، يتمدَّد الماء بنسبة قدرها نحو ١١ بالمائة عند انتقاله من الحالة السائلة عند حرارة صفر درجة مئوية إلى الحالة المتجمِّدة عند حرارة صفر درجة مئوية، وهو ما يتسبَّب في انفجار معظم الأوعية الحاوية له، بما في ذلك مواسير المياه الحديدية.

### (٤١) نَفْث الهواء الساخن والبارد*

يستطيع أنبوب دوَّامة رانك-هيلش أن يفصل الهواء إلى تيار من الهواء الساخن وتيار من الهواء البارد دون أن يكون به أي أجزاء متحرِّكة؛ لأن الهواء يبرد في البداية عن طريق التمدُّد لدُنْ دخوله فيه. فقُرب المدخل هناك دوَّامة ذات سرعات دوران أكبر قرب محور الأنبوب وسرعات دوران أبطأ قرب جدرانه. الهواء المتحرك صوب الطرف الساخن من الأنبوب يمر بعمليات احتكاك ذات درجة لزوجة عالية بين الهواء الأدفأ بالقرب من المحور والهواء الأبرد، وهو ما يؤدِّي إلى بذل شغل من أجل تسخين المناطق الخارجية للهواء بينما يخرج من الطرف الساخن للأنبوب. يستطيل الهواء الذي يشكِّل قلب الدوامة مع اقترابه من الطرف البارد ويخرج منه.

الفصل الثاني

# عالمٌ من الألوان

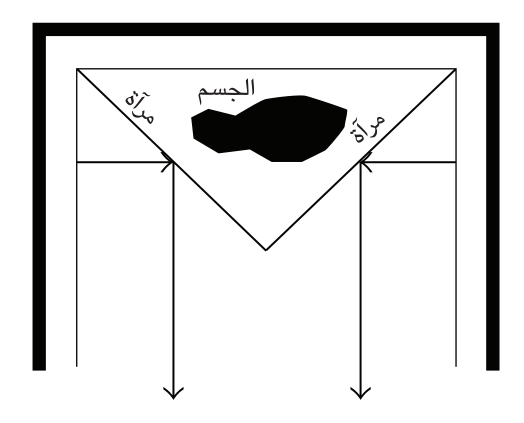
## (١) زاوية من مرآتين

في حالة المرآتين المتعامدتين، لن يظهر على صورتك «في الزاوية» أيُّ تغيير فيما يتعلَّق بيديك، وذلك على النقيض من الصور المعكوسة التي تُرى في أيٍّ من المرآتين المستويتين كلٌّ على حدةٍ. وسبب هذا هو انعكاس الصورة على محور اليمين/اليسار، وانعكاسها على محور الأمام/الخلف.

*Galili, I.; F. Goldberg; and S. Bendall. "Some Reflections on Plane Mirrors and Images."* Physics Teacher *29 (1991): 471.*

## (٢) الفيل المختفي

في الواقع يظل الفيل موجودًا داخل القفص. وحين يأتي وقت الاختفاء، تنزلق مرآتان كبيرتان بسرعة في موضعيهما ويرى الجمهور الجدران الداخلية لخشبة المسرح. هاتان المرآتان الجانبيتان مصمَّمتان بحيث يطابق الضوء المنعكس مِن عليهما ستارة المسرح الخلفية، التي لا تظهر عليها صورة الفيل. توضع المرآتان المستويتان الكبيرتان بزاوية قائمةٍ إحداهما على الأخرى بحيث يكون خط التَّمَاسِّ إلى الأمام، في اتجاه الجمهور. تُستخدَم ومضة من الضوء لإخفاء الحركة السريعة للمرآتين. ثم يُقاد الفيل سريعًا إلى خارج خشبة المسرح من خلال باب لا يراه الجمهور.

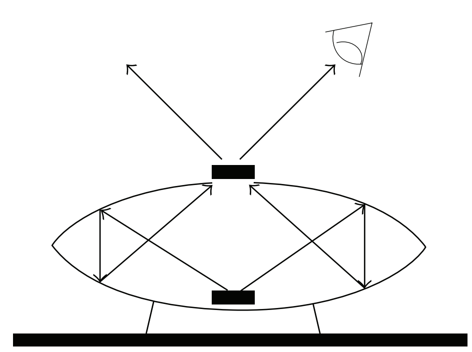



*Edge, R. D., and E. R. Jones Jr. "Optical Illusions."* Physics Teacher *22 (1984): 591–593.*

*Ruiz, M. J., and T. L. Robinson. "Illusions with Plane Mirrors."* Physics Teacher *25 (1987): 206–212.*

## (٣) الصورة الطافية

الصورة الحقيقية مُنتَجة بواسطة انعكاسَيْن اثنين، واحد من السطح الداخلي لكل مرآة مقعرة من المرآتين، قبل أن يخرج شعاع الضوء. الجسم المنتصب الموضوع في القاع سيبدو على هيئة صورة حقيقية منتصبة، كما يتحدَّد بواسطة النظر إلى الصورة وبواسطة تتبع الأشعة الصادرة عنه.



*Sieradzan, A. “Teaching Geometrical Optics with the ‘Optical Mirage.’”* Physics Teacher *28 (1990): 534-536.*

### (٤) إضاءة صورة

الصورة الحقيقية ستكون مضاءة على نحو ملائم في الموضع المحدَّد الذي سيوجَّه إليه ضوء المصباح. يمكن للمرء تتبُّع أشعة الضوء الصادرة عن المصباح اليدوي وهي تمر عبر الصورة الحقيقية كي تضرب الجسم الحقيقي الموضوع على المرآة السفلى؛ ومن ثم، يُضاء الجسم الحقيقي بواسطة المصباح اليدوي، وبالتبعية ستُضاء صورته.

*Mackay, R. S. “Shine a flashlight on an Image.”* American Journal of Physics *46 (1978): 297.*

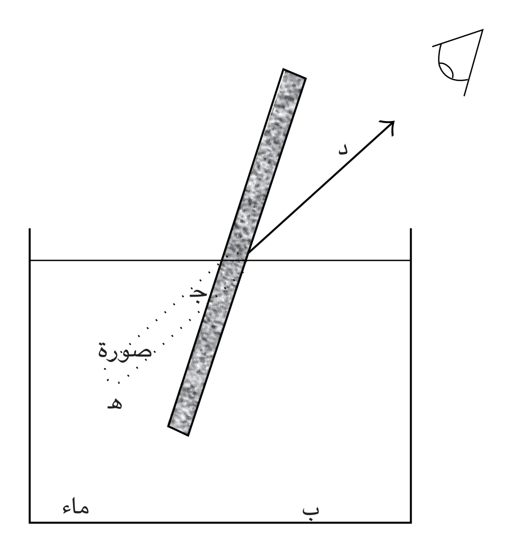
### (٥) التواصل بشعاع الليزر

ينبغي أن تصوِّب شعاع الليزر مباشرةً على امتداد خط الرؤية إلى المحطة الفضائية. سيكون هناك اختلاف طفيف للغاية في الزاوية لكلٍّ من الضوء الأحمر والضوء الأزرق، لكن مستقبِل المحطة الفضائية سيكون كبير الحجم بما يكفي مقارنةً بقُطر الشعاع ومقارنةً بمسافة الانفصال، لدرجة أن هذا التصويب المباشر لن يُحدِث أي اختلاف.

*Hewitt, P. “Figuring Physics.”* Physics Teacher *28 (1990): 192.*

### (٦) العصا المنثنية

التناقض هنا ظاهري وحسب. فعينُ الراصد تتلقَّى الضوء المنعكِس من أسفل العصا (ب)، لكن شعاع الضوء الخارج من (ب) يغيِّر اتجاهه عند السطح الواصل بين الماء والهواء (جـ) على امتداد المسار (ب جـ د) كي يصل للعين. وبالنسبة إلى الراصد، يبدو الضوء وكأنه جاء مباشرةً من وراء النقطة (جـ)، أو من نقطة قرب النقطة (هـ). لاحظ أن النقطة (هـ) أعلى من النقطة (ب)؛ لذا تبدو العصا وكأنها منثنية لأعلى.




### (٧) الثقب الصغير

الجواب هو: نعم. فهندسة المثلثات المتشابهة تكشف أن نسبة قُطر الشمس إلى قُطر صورة الشمس تعادِل نسبة المسافة إلى الشمس مقسومةً على صورة المسافة من الثقب. وبما أننا نعلم الكميات الثلاث الأخرى، يكون من الممكن تحديد قُطر الشمس.

*Young, M. "Pinhole Imagery."* American Journal of Physics *40 (1972): 715-720.*

______. *"Imaging without Lenses or Mirrors."* Physics Teacher *27 (1989): 648.*

### (٨) النافذة

تبدو النافذة المفتوحة سوداء أو مظلمة للغاية في وقت النهار؛ لأن أغلب الضوء يدخل من فتحة النافذة ولا يخرج. والسلوك عينه يفسِّر سبب سواد بؤبؤ العين. وفي الواقع، حتى الطباعة السوداء الظاهرة على هذه الصفحة تمتصُّ معظم الضوء الساقط عليها.

فالمعلومات التي تقرَؤُها في هذه الكلمات تتحدَّد في الحقيقة بواسطة انعكاسات الضوء من الورق الأبيض المحيط بالأحرف السوداء.

## (٩) غطاء النافذة

الجواب هو: لا. فغطاء النافذة يساعد في فصل الشتاء أيضًا. ينقل الغطاء قدرًا أقل من الأشعة تحت الحمراء؛ ومن ثم في فصل الشتاء سيظل المزيد من الطاقة تحت الحمراء داخل الحجرة.

*Wald, M. L. “Windows That Know When to Let Light In.”* New York Times *(August 16, 1992), p. F9.*

## (١٠) قوس قزح

هناك طريقتان تحل بهما الطبيعة هذه المشكلة؛ أولًا: ليست قطرات المطر كروية تمامًا في الواقع؛ لذا لا توجد ظروف هندسية متماثلة عند كل سطح مشتَّت بين الماء والهواء. ثانيًا: دائمًا ما يخرج بعض الضوء من السطح حتى في حالة الانعكاس الداخلي الكامل.

## (١١) لغز بصري

ستنقلب الصورة وتدور يمينًا لأعلى؛ أي إن دوران المرآة بزاوية ٩٠ درجة سيؤدِّي إلى دوران مقداره ١٨٠ درجة للصورة. من شأن مخطَّط لتتبُّع الأشعة أن يبيِّن السبب وراء كون هذا السلوك متوقَّعًا.

*Derman, S. “An Optical Puzzle That Will Make Your Head Spin.”* Physics Teacher *19 (1981): 395.*

*Holzberlein, T. M. “How to Become Dizzy with Derman’s Optical Puzzle.”* Physics Teacher *20 (1982): 401–402.*

*Wack, P. E. “Cylindrical Mirrors.”* Physics Teacher *19 (1981): 581.*

## (١٢) مرآة الرؤية الخلفية

مرآة الرؤية الخلفية لها شكل الإسفين، وبها سطح مفضَّض في الخلفية. زاوية الإسفين تتراوح بين ثلاث وخمس درجات. وخلال وقت النهار يرى السائق الانعكاس من على خلفية السطح. أما في الليل، بعد إمالة المرآة، فإن السائق يرى الانعكاس الأردأ من على الجزء الأمامي من السطح، وهو غير مفضَّض. لا يزال يوجد انعكاس من على السطح المفضَّض، لكن هذا الضوء المنعكس لا يصل إلى العين.

*Jones, E. R., and R. D. Edge. "Optics of the Rear-View Mirror: A Laboratory Experiment."* Physics Teacher *24 (1986): 221.*

## (١٣) ألوان

خطأ. في أغلب الأوقات يبدو القميص باللون الأخضر؛ لأن مزيج الألوان المشتَّت انتقائيًّا نحو أعيننا يعطي درجةً ما من درجات اللون الأخضر. ومما يثير الدهشة أنه لا يوجد في المعتاد ضوء أخضر في الطيف الداخل إلى أعيننا. فمنظومة العين/المخ تخدعنا على نحو متكرِّر عند النظر إلى الألوان، لكن يمكن لمقياس الطَّيف أن يكشف عن الألوان الحقيقية — تردُّدات الضوء الفعلية — التي يشتِّتها القميص.

## (١٤) الألوان الأوَّلية

صحيح وخطأ في الوقت نفسه. فالألوان الأحمر والأخضر والأزرق ليست الألوان الأولية الوحيدة للضوء. فأي ثلاثة ألوان للضوء يمكن استخدامها كألوان أولية ما دامت متعامدة بعضها على بعض؛ بمعنى أن اللون الثالث لا يمكن تصنيعه من مزيج من اللونين الآخرين.

عادةً ما يُطلَب شرط ثالث يتمثَّل في ضرورة أن ينتج مزيج الألوان الثلاثة الأولية أوسع نطاقٍ، أو تنوعٍ، ممكن من الألوان. لكن هذا الشرط ذاتي إلى حدٍّ ما؛ لأن كل شخص له استجابة مختلفة قليلًا عمَّن سواه نحو الضوء. ومن ثم، لا يوجد من يحدِّد ثلاثة تردُّدات معيَّنة للضوء بوصفها المجموعة الثلاثية الفضلى من الألوان الأولية.

*Feynman, R. P.; R. B. Leighton; and M. Sands.* The Feynman Lectures on Physics. Vol. 1. *Reading, Mass.: Addison-Wesley Publishing, 1963, page 35-6.*

## (١٥) ماسة مقطوعة ببراعة

سترى رُقَعًا بيضاوية من الضوء الملوَّن لها ألوان قوس قزح. هذه الألوان تظهر لأن الألوان الزرقاء تنفصل عن الألوان الحمراء بدرجة أكبر قليلًا عند كل سطح من الأسطح الأربعة على امتداد المسار. يكون مُعامل الانكسار مختلفًا بدرجة طفيفة على امتداد تردُّدات الطيف المرئي.

*Friedman, H. "Demonstrations of the Optical Properties of Diamonds."* Physics Teacher *19 (1981): 250-252.*

## (١٦) إعادة تجميع الضوء الأبيض

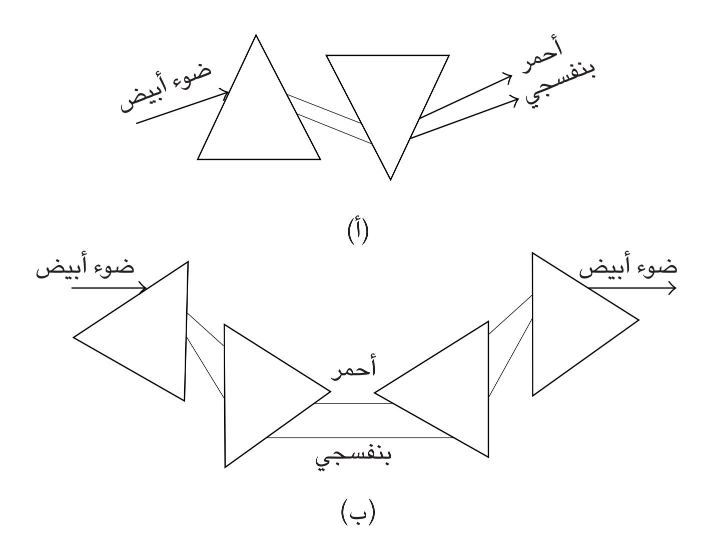
تعمل العدسة المجمِّعة على النحو الأمثل إذا وُضعت بالقرب من الموشور الذي فصل طيف الضوء في البداية. بعد ذلك يمكن من أجل استقبال الصورة تحريك ورقة بيضاء حتى المسافة المناسبة لرؤية الضوء الأبيض وهو يعاد تجميعه من أشعة الضوء الملونة.

*MacAdam, D. L. "Newton's Theory of Color."* Physics Today *38 (1985): 11-14.*

*Pregger, F. T. "Recombination of Spectral Colors."* Physics Teacher *20 (1982): 403.*

## (١٧) موشورات

الجواب هو: لا؛ إذ لا يستطيع موشوران أن يعيدا تجميع طيف أشعة الضوء من موشور إلى الشعاع الأصلي الرفيع للضوء الأبيض. هذه الفكرة المغلوطة لا تزال موجودة إلى يومنا هذا في العديد من الكتب. وتجريبيًّا، سيحصل المرء من وراء هذا على أشعة متوازية من الألوان الموجودة في شعاع ملون عريض، لا على شعاع واحد رفيع من الضوء الأبيض. سنحتاج أربعة موشورات متماثلة من أجل إعادة تجميع الأشعة على صورة ضوء أبيض.




## (١٨) تضييق العينين

ينجح تضييق العينين لأن العين — كالكاميرا ذات الثقب — سيكون لديها عمق لا نهائي للمجال؛ بمعنى أن الصورة ستكون في بؤرة التركيز عبر نطاق عريض من المسافة؛ وبذا سينجح تضييق العينين في تحسين كلٍّ من قِصَر النظر وطول النظر. بالأساس، في حالة قصر النظر فإن الأشعة الداخلة إلى العين بعيدًا عن المحور البصري المركزي لا تتركَّز على الشبكية؛ لذا سيعمل حجب هذه الأشعة على تحسين الصورة.

لكن النظارات ذات الثقوب الرفيعة لن تكون فكرة طيبة؛ لأن مجال الرؤية يكون ضيقًا للغاية. فالثقب الرفيع يبعد كثيرًا عن مُقلَة العين؛ ومن ثم تقلُّ شدة الضوء على نحو حادٍّ.

ومع ذلك، يمكننا تحسين الرؤية في حالة قصر النظر عن طريق استخدام ضوء أشد سطوعًا؛ بحيث تعمل شدة الضوء على تمكين بؤبؤ العين من أن يضيق كي يحجب الأشعة البعيدة عن المحور البصري.

*Keating, M. P. "Reading through Pinholes: A Closer Look."* American Journal of Physics *47 (1979): 889–891.*

*Mathur, S. S., and R. D. Bahuguna. "Reading with the Relaxed Eye."* American Journal of Physics *45 (1977): 1097–1098.*

## (١٩) نظارات شمسية مستقطَبة

من خلال العدسة اليسرى، ستبدو الأجسام طبيعية، مع وهج أقل من الأسطح الأفقية. لكن من العدسة اليمنى الموجَّهة على نحو خاطئ فإن العديد من الأجسام البعيدة ستبدو «قريبة للغاية» ومُعتِمة بدرجة ما. لقد فسَّر المخ الأجسام البعيدة على أنها قريبة للغاية للناظر، على الجانب الأيمن من الأنف؛ لأن الأجسام كانت ساطعة للغاية!

بالمناسبة، النظارات المستقطَبة المجسِّمة الخاصة بمشاهدة الأفلام أو الشرائح تتعامد اتجاهات استقطاب عدستَيْها بعضها على بعض، وعادةً ما يكون هذا بزاوية ±٤٥ درجة. توظِّف أنواع أخرى من النظارات تقنية «مصراع الكاميرا» التي فيها تتعرَّض عين واحدة من العينين للضوء القادم من الشاشة في الأوقات المناسبة.

*Hodges, L. "Polarized Sunglasses and Stereopsis."* American Journal of Physics *52 (1984): 855.*

## (٢٠) حدَّة الإبصار

تمتلك العين البشرية ثلاثة أنواع من المستشعرات المخروطية للضوء المرئي: حمراء وخضراء وزرقاء. إذا كانت الكثافة السطحية للمخاريط الزرقاء تعادل الكثافة السطحية للمخاريط الخضراء أو تقل عنها، فحينها سيتحدَّد الفصل الزاوي بواسطة هذه الكثافة السطحية وليس معيار الطول الموجي. فالعين البشرية لا تمتلك كثافة سطحية كبيرة بما يكفي من المخاريط الزرقاء.

أيضًا تعتمد حدة الإبصار على شدة الضوء؛ لأن بؤبؤ العين يضيق عند التعرُّض للضوء الساطع، متخلِّصًا من تلك الأشعة التي تدخل على مبعدة من المحور البصري.

*Kruglak, H. "Another Look at Visual Acuity."* Physics Teacher *19 (1981): 552–554.*

## (٢١) نقاط ليزرية

النمط الحُبيبي الذي يُرى في أشعة الليزر المنعكسة يسمَّى «النقاط»، وهو تأثير يتسبَّب به التداخل بين الأشعة المختلفة لضوء الليزر التي تتشتَّت إلى عينيك وتقطع مسافات متباينة. وإذا حرَّكت رأسك نحو أحد الجانبين ورأيت نمط النقاط يتحرَّك في الاتجاه المعاكس، تكون من قصار النظر. فهنا أنت تركِّز عينيك أمام السطح الحقيقي، الذي يبدو وقتها وكأنه يتحرَّك في الاتجاه المعاكس لحركة رأسك. أما الأشخاص طوال النظر فيرون النقاط تتحرَّك في نفس اتجاه حركة رءوسهم.

*Caristen, J. L. "Laser Speckle."* Physics Teacher *25 (1987): 175–176.*

*Walker, J. "The 'Speckle' on a Surface Lit by Laser Light Can Be Seen with Other Kinds of Illumination."* Scientific American *261 (1982): 162–169.*

## (٢٢) المُرَشِّح الأحمر

أنت لا ترى الحرف R الأحمر؛ لأن الورقة البيضاء تعكس نفس مقدار الضوء الأحمر لكل وحدة مساحة، الذي يعكسه الحرف R المكتوب بقلم التلوين الأحمر، وهذا الضوء الأحمر يمر عبر المرشح الأحمر. بيد أنك ترى «ظلًّا» للحرف B الأزرق؛ لأن قلم التلوين الأزرق يعكس قدرًا قليلًا للغاية من الضوء الأحمر وأنت ترى هذا التباين الداكن لشدة الضوء الأحمر من الورقة البيضاء.

*Kernohan, J. C. "Red, White, Blue, and Black."* Physics Teacher *29 (1991): 113.*

## (٢٣) صور حمراء وزرقاء

كلَّا. فالصورتان الحمراء والزرقاء للجسم عينه لهما حجمان مختلفان؛ لأن الضوء الأزرق ينكسر بواسطة العين عبر زاوية أكبر قليلًا. وإذا كانت الصورة الزرقاء في بؤرة التركيز على الشبكية، فستتركز الصورة الحمراء خلف الشبكية بقليل؛ ومن ثم تظهر الصورة الحمراء أكبر قليلًا، وربما غائمة قليلًا.

## (٢٤) الألوان في الضوء المحيط

في أغلب الحالات، تبدو ألوان ملابسك واحدة؛ سواء أنظرت إليها وأنت داخل الغرفة أم بالخارج في ضوء الشمس، حتى إن كان الضوء المحيط مختلفًا على نحو جذري! يبدو أن منظومة العين/المخ تتخلَّص من اختلافات الضوء المحيط، بحيث تبدو الألوان متماثلة تقريبًا. ولا تزال الآلية الفسيولوجية المسئولة عن تحقيق هذا التأثير محلَّ دراسة.

## (٢٥) الرؤية حول الزوايا

عملية تكوين الصورة مهمة للغاية من أجل الرؤية، لكن ليس لها أهمية في حالة السمع. فالسمع يتضمَّن منظومة رصد صغيرة مقارنةً بالطول الموجي للصوت. ومن هنا يعتمد السمع على التفاوت الزمني لا على شكل مقدِّمات الموجات.

لكن الرؤية أكثر تعقيدًا من هذا؛ لأنها تتطلَّب عملية تكوين الصورة. والصور تعتمد على العلاقات الطورية لأشعة الضوء المتجاورة. وأشعة الضوء المنكسرة أو المشتَّتة إلى الشكل الهندسي للزاوية لم تعُدْ تملك العلاقات الطورية الأصلية. فبينما تنكسر أشعة الضوء على الزاوية فإنها تغيِّر اتجاهاتها وأطوارها النسبية. وفي المتوسط، تُلغي أشعةُ الضوء بعضُها بعضًا، بحيث لا يصير الجسم مرئيًّا. على النقيض من ذلك، تحافظ المرآة المستوية الموضوعة كي تعكس الضوء حول الزاوية على كلٍّ من اتجاهات الأشعة المتوازية وأطوارها المناسبة.

*Ferguson, J. L. "Why Can We Hear but Not See around a Corner?"* American Journal of Physics *54 (1986): 661–662.*

## (٢٦) تأثير مجسم

يظهر التأثير المجسم؛ لأن كل عين بمفردها ترى نمطًا مختلفًا اختلافًا طفيفًا من ومضات الضوء المنعكس. وهندسة رؤيتنا ثُنائية العين تكشف فقط الموضع الذي ينبغي أن تظهر فيه كل صورة في الفضاء. وبالمثل في حالة علامات القطع الموجودة على لوح الألمونيوم، تظهر العديد من هذه العلامات وكأنها تطفو فوق المعدن الفعلي. مثل هذه التأثيرات يمكن أن تكون مذهلة. ويمكن لصورة مجسَّمة مصنوعة من صورتين للمشهد عينه

ملتقَطَين بزاويتين مختلفتين اختلافًا طفيفًا أن تنتج صورًا ثلاثية الأبعاد عند النظر إليها على النحو الملائم، وهذا التأثير مرتبط برؤية الومضات.

*Hulbert, E. O.* American Journal of Physics *15 (1947): 279.*

## (٢٧) لون العين

يتراوح لون العين من الأزرق الخفيف إلى البُنِّي الداكن، لكن اللون قد يختلف من عين إلى أخرى، بل وداخل القزحية ذاتها. يتحدَّد لون العين كليةً بواسطة تركيزات الخلايا الصبغية المتماثلة التي تسمَّى الخلايا الميلانينية؛ وكلها تحتوي على الصبغة عينها — الميلانين — بغضِّ النظر عن لون العين!

ينعكس الضوء من على مؤخرة القزحية، وكلما زاد تركيز الخلايا الميلانينية هناك، صار اللون أكثر عتامةً وعمقًا. درجتا اللون الخضراء والزرقاء تشيران إلى وجود توزيع متفرِّق للخلايا الميلانينية. العيون البنية تتطلَّب أن تكون الخلايا الميلانينية موجودة كذلك في مقدمة القزحية. الأطفال حديثو الولادة لم تتكوَّن لديهم بَعْدُ خلايا ميلانينية في مقدِّمة قزحياتهم، لكن في غضون بضعة أشهر تنتقل بعض الخلايا إلى هناك.

الشخص الأمهق يفتقر تمامًا إلى الصبغات، وتبدو عينا هذا الشخص ورديةً بسبب انعكاس الضوء من على الأوعية الدموية الموجودة في الشبكية.

*Yulsman, T., ed. "Eye Color: An Optical Illusion."* Science Digest *91 (1983): 92.*

## (٢٨) ملابس معدنية

أغلب الطاقة الحرارية الصادرة عن قطعة ساخنة لدرجة الاحمرار من المعدن ينتقل إليك عن طريق الأشعة تحت الحمراء؛ وهي طاقة كهرومغناطيسية ذات تردُّد يقلُّ قليلًا عن الجزء الأحمر من الطَّيف المرئي. والمعادن عواكس ممتازة للإشعاع الكهرومغناطيسي؛ لذا يوفِّر الطلاء المعدني للملابس درعًا فعالة ضد الأشعة تحت الحمراء التي تطلقها قطعة المعدن الساخنة.

توظِّف البطانية الحرارية الموجودة في أطقم أدوات الطوارئ القدرةَ العالية على عكس الأشعة تحت الحمراء الخاصة بطبقة معدنية رفيعة من أجل عكس الأشعة تحت

الحمراء نحو الجسم البشري. وعند لفِّ البطانية حول الشخص فإن هذا المزيج للطبقة المعدنية الموضوعة على ملاءة بلاستيكية يحفظ طبقة الهواء الصغيرة الموجودة بين الجسم والبطانية دافئة للغاية حتى لو كانت درجات الحرارة المحيطة باردة لدرجة التجمد.

## (٢٩) السماء ينبغي أن تكون بنفسجية*

من شأن السماء أن تكون بنفسجية بدلًا من زرقاء لو كان تشتُّت رايلي هو العامل الوحيد ذا الأهمية في الأمر. إن ضوء الشمس الواصل إلى الغلاف الجوي ليس له الشدة عينها لكل الألوان، وبدلًا من هذا فإن ذروة شدة ضوء الشمس تقع في نطاق درجات الضوء الأخضر التي تتوافق مع درجة الحرارة البالغة ٦٠٠٠ درجة كلفنية عند سطح الشمس. ومن ثم فإن الشدة الإجمالية للضوء البنفسجي في الطيف الشمسي تقلُّ عن الشدة الإجمالية للضوء الأزرق، ويهيمن الضوء الأزرق على تشتُّت رايلي في السماء.

كتأثير إضافي، أعيننا أقل حساسية تجاه درجات الضوء البنفسجي مقارنةً بدرجات الضوء الأزرق؛ لذا تتعزَّز الهيمنة المذكورة عالِيه من جانب استجابتنا الفسيولوجية.

## (٣٠) راديومتر كروك ١*

خضع راديومتر كروك للبحث للمرة الأولى عام ١٨٧٤م، ومنذ ذلك الوقت وهو يثير الجدل. وما يجعل هذا الجهاز أكثر إثارةً للذهول في البداية هو أنه يُمْكِننا فعليًّا أن نُزيل كل أسطح الريشات داخل محيط الجهاز، بحيث نترك فقط الحواف الشبيهة بالأسلاك وسيظل الجهاز صالحًا للعمل بنفس كفاءته السابقة! وقد بيَّنت التجارب التي أُجرِيت في عشرينيات القرن العشرين أن قوة الراديومتر تقع عند حواف الريشات.

عندما يكون هناك فراغ شبه تام بالداخل، تتحرَّك الريشات بحيث تبتعد الجوانب المفضَّضة عن مصدر الضوء كما هو متوقَّع. لكن أغلب الراديومترات يحتوي على هواء في ضغط منخفض، يبلغ نحو ٠٫١ ملِّيمتر من الزئبق؛ لذا يجب أن تلعب جزيئات الهواء دورًا في جعل الراديومتر يدور بحيث تبتعد الجوانب السوداء عن مصدر الضوء. نحن نحتاج إلى تدبُّر التأثيرات الواقعة على حواف الريشة فقط؛ لأن القوى المؤثِّرة على المساحة السطحية الواسعة على كلا الجانبين يُلغي بعضها بعضًا. ستكون الجوانب السوداء على

الحافة أدفأ قليلًا من الجوانب المفضَّضة على الحافة. هَبْ أن جزيئًا من جزيئات الهواء يقترب من الحافة السوداء داخل مسافة المسار الحر المتوسطة، البالغة نحو ٠٫٦ ملِّيمتر. هذا الجزيء سوف يصطدم بجزيء آخر مرتد عن حافة الريشة وبالجزيئات المارة بحافة الريشة من الجانب البارد. لكن هذه الجزيئات الأخيرة أقل نشاطًا، وقدرتها على دَفْع جزيء الهواء القادم نحوها أقل كفاءة. ومن ثم ستعاني الحافة السوداء من اصطدامات أكثر لكل وحدة مساحة في الثانية مقارنةً بالحافة المفضَّضة. وهذا الفائض هو المسئول عن دفع الريشات في الاتجاه المعاكس في مواجهة القوة الناتجة عن تأثيرات تبادل زخم الفوتونات.

*Woodruff, A. E. "The Radiometer and How It Does Not Work."* Physics Teacher 6 *(1968): 358-363.*

## (٣١) راديومتر كروك ٢*

يمكن جعل الريشات تدور على نحو معاكس عن طريق تبريد الراديومتر في ثلاجة أو عن طريق تسخين الراديومتر أولًا حتى درجة حرارة تفوق درجة حرارة الغرفة ثم تَرْكه يبرد. كِلَا الإجراءين من المؤكَّد أن يجعلا الجانب الأسود أبرد قليلًا من الجانب المفضَّض، وهي حالة معاكِسة للعملية الطبيعية التي تجري في حرارة الغرفة (انظر السؤال السابق لمزيد من التفاصيل).

*Bell, R. E. "The Reversing Radiometer."* American Journal of Physics *51 (1983): 584.*

*Crawford, F. S. "Running Crooke's Radiometer Backwards."* American Journal of Physics *53 (1985): 1105.*

______. *"Running Crooke's Radiometer Backwards."* American Journal of Physics *54 (1986): 490.*

*Woodruff, A. E.* Physics Teacher *6 (1968): 358.*

## (٣٢) الانبعاث الجزئي للضوء*

في حالة الشريط اللاصق الذي يُنزَع من على الزجاج، توجد جسيمات مشحونة كهربيًّا على امتداد الخط الفاصل بين الشريط والزجاج. وحين تتكوَّن الفجوة الصغيرة في البداية، يكون فرق الجهد الكهربي لكل سنتيمتر عبر الفجوة من الكِبَر بما يكفي بحيث يفتِّت الهواء، وتنطلق شرارة عبر الفجوة. ويحدث تأثير مشابه عند كسر أنواع معينة من رقائق الحلوى.

*Walker, J. "How to Capture on Film the Faint Glow Emitted When Sticky Tape Is Peeled off a Surface."* Scientific American *266 (1987): 138-141.*

## (٣٣) انعكاس مرآة مثالي*

يمكن لطبقات متبادلة من المواد المعدنية والمواد العازلة كهربيًّا أن تُنتِج مرآة قادرة على أن تعكس على نحو شبه تام كل الضوء الساقط عليها بأي زاوية وأي تردُّد! وعن طريق المزج بين أفضل المرايا المعدنية والمرايا المصنوعة من مواد عازلة كهربيًّا تَحَقَّق بالفعل هذا الإنجاز المتمثِّل في تصنيع المرآة المثالية للمرة الأولى عام ١٩٩٨م.

*Fink, Y., et al. "A Dielectric Omnidirectional Reflector."* Science *282 (1998): 1679–1682.*

الفصل الثالث

# الموائع

## (١) وزن الهواء!

يزن الهواء نحو ٢٫٢ رطل لكل متر مكعب، أو نحو الكيلوجرام الواحد؛ لذا الجواب الصحيح هو (و). قِلَّة قليلة من الأشخاص هم مَن يخمِّنون أن تكون القيمة أكبر من أوقيَّتين! ومن الطرق التي تمكِّننا من تقدير القيمة البالغة ١ كيلوجرام بسرعة وبدقَّة معرفةُ أن كل ٢٢٫٤ لترًا من الهواء لها كتلة مقدارها نحو ٢٨ جرامًا، وأن المتر المكعب من الهواء يحتوي على ١٠٠٠ لتر.

## (٢) الهواء الرطب

الهواء الرطب وزنه أقل من الهواء الجاف؛ لأن جزيئات الماء ذات الوزن الجزيئي ١٨ حلَّت محل جزيئات أخرى أضخم كجزيئات النيتروجين ذات الوزن الجزيئي ٢٨، وجزيئات الأكسجين ذات الوزن الجزيئي ٣٢. كلا الحيزَيْن لهما العدد عينه من الجزيئات؛ ومن ثم تقلِّل الرطوبة المتزايدة من قراءة البارومتر. لذا، مع اقتراب أي عاصفة تنخفض قيمة ضغط البارومتر.

## (٣) رطل من الريش

رطل الريش أثقل وزنًا من رطل الحديد! إن قوة الطفو الخاصة بالهواء والمؤثِّرة على رطل الريش ذي الحيز الأكبر (نظرًا لأن الميزان يزن الرطلين في الهواء) لا بد أن تجري

معادلتها بواسطة ما يزيد عن رطل من الريش (لو أنه قِيس في الفراغ) من أجل تحقيق نفس القراءة ومقدارها رطلٌ واحدٌ. ها قد حُلَّت المشكلة أخيرًا!

*Hewitt, P.* Physics Teacher *27 (1989): 112.*

## (٤) الإبحار في الهواء الساكن

ارفع الشراع، وستساعد الرياح المتولِّدة عن حركة المركب مع التيار في دفع المركب إلى الأمام. لا يمكنك الإبحار مباشرة في اتجاه الريح، وإنما ستُبحر في مسار متعرِّج ضد الريح المقابلة لك من الأمام، مثلما يفعل المركب الشراعي في المعتاد.

*Bradley, R. C. “Problem: Sailing Down the River.”* American Journal of Physics *64 (1996): 686, 826.*

## (٥) الحلم المستحيل

نعم، يمكن هذا، لكن في ظل ظروف محدَّدة للغاية. فجزيئات الهواء المدفوعة للأمام بواسطة المروحة يجب أن تصل الشراع وترتد عنه بمُركَّب خلفي ما لسرعتها. تقوم الحجة القياسية على مبدأ حفظ الزخم. ومن الواضح أن المركب المزود بالمروحة، بالإضافة إلى الهواء الموجود بين المروحة وبين الشراع، لا يشكلان نظامًا مغلقًا.

من الممكن أن يُضرَب جزيء هواء وحيد موجود في حالة سكون أمام المروحة (أو حيِّز ثابت من الهواء متوسط سرعته صفر) بواسطة ريشة المروحة، ويُدفَع إلى الأمام بزخم اتجاهي $p$. ريشة المروحة، والمركب المثبتة إليه المروحة، يكتسبان المقدار عينه من الزخم $-p$ في الاتجاه المعاكس. عند الحد الأقصى لنقل الزخم، سيقوم الجزيء بعملية اصطدام مرن مع الشراع ويرتد إلى الخلف بزخم $-p$. ومن ثم يكون تغيُّر الزخم بالنسبة إلى الجزيء هو $-2p$؛ وبذا يتلقَّى الشراع — والمركب — زخمًا قدره $+2p$ في الاتجاه الأمامي. وبجمع التغيُّرين في الزخم الواقعَيْن على المركب، يكون التغيُّر الإجمالي في الزخم هو $-p + 2p = +p$، وهي زيادة صافية في الاتجاه الأمامي.

لاحظ أنه في حدود الجزيء الملتصق بالشراع، تكون النتيجة الصافية هي صفر من الزخم بالنسبة إلى المركب. المرجع الثاني الذي نورده هنا يقدِّم سردًا للظروف المطلوبة، ويوضِّح كيفية عمل هذا الأمر بصورة ناجحة.

*Clark, R. B. "The Answer is Obvious, Isn't It?"* Physics Teacher *24 (1986): 38–39.*

*Hewitt, P. "Figuring Physics"* Physics Teacher *26 (1988): 57–58.*

*Martinez, K., and M. Schulkins. "Letters."* Physics Teacher *24 (1986): 191.*

## (٦) قوة رفع منطاد من الهليوم

كلَّا، غير صحيح. فالمنطاد المملوء بالهليوم يؤدِّي أفضل من المتوقَّع منه. من واقع قانون نيوتن الثاني، قُمْت بحساب محصِّلة القوى في الاتجاه الرأسي، التي تساوي قوة الطفو إلى أعلى مطروحًا منها الوزن الجاذب للأسفل. قوة الطفو إلى أعلى تساوي وزن حجم الهواء المُزاح، بينما الوزن الإجمالي هو وزن الغاز داخل البالون إضافةً إلى وزن الجلد المصنوع منه المنطاد، ووزن الحمولة.

قوة الرفع تساوي قوة الطفو الخاصة بالهواء مطروحًا منها وزن الغاز داخل البالون، وهي كمية تتناسب طرديًّا مع اختلاف الغازين من حيث الوزن الجزيئي. متوسط الوزن الجزيئي للهواء عند مستوى سطح البحر هو ٢٨,٩٧، وهو ما يُنتِج اختلافًا قدره ٢٤,٩٧ في حالة الهليوم مقارنةً باختلاف قدره ٢٦,٩٧ في حالة الهيدروجين. وتكون قوة الرفع النسبية للهليوم هي النسبة ٢٤,٩٧ / ٢٦,٩٧ = ٠,٩٢٦؛ بمعنى أن كفاءة الهليوم في الرفع تساوي ٩٢,٦ كفاءة الهيدروجين.

*Burgstahler, A. W., T. Wandless, and C. E. Bricker. "The Relative Lifting Power of Hydrogen and Helium."* Physics Teacher *25 (1987): 434.*

*Lally, V. E. "Balloons for Science."* Physics Teacher *20 (1982): 438.*

## (٧) غوَّاص ديكارتي معكوس

لا يمكن أن يكون للزجاجة مقطع عرضي دائري. إن الضغط على الزجاجة ذات المقطع العرضي غير الدائري عبر الاتجاه الأوسع يقلِّل من ضغط الماء؛ وبذا يندفع الغواص إلى

أعلى. أما الضغط على زجاجة ذات مقطع عرضي دائري فمن شأنه أن يزيد الضغط ويُبقي الغوَّاص في القاع.

*Brandon, A. "A Beautiful Cartesian Diver."* Physics Teacher *20 (1982): 482.*

*Butler, W. A. "Reverse Cartesian Diver 'Trick.'"* American Journal of Physics *49 (1981): 92.*

*Wild, R. L. "Ultimate Cartesian Diver Set."* American Journal of Physics *49 (1981): 1185.*

## (٨) فلِّينة في دلو ساقطة

ستظل الفلِّينة في قاع الدلو؛ لأن كُلًّا من الدلو والماء والفلينة يسقط بالعجلة نفسها تمامًا (مع تجاهل تأثيرات مقاومة الهواء). قد يظن المرء أن قوة الطفو الخاصة بالماء ستدفع الفلِّينة إلى أعلى نحو السطح، لكن في حالة السقوط الحر تُساوي قوة الطفو صفرًا.

## (٩) سائلان يستحيل امتزاجهما

بعد انفصال السائلَيْن، يكون وزن العمود المركزي أقل؛ ومن ثم يكون الضغط الواقع على القاع أقل. الجدران المائلة للزجاجة تضغط أيضًا لأسفل بمقدار أقل، وهو ما يكمل التفسير.

*Arons, A. B.* Teaching Introductory Physics. *New York: John Wiley & Sons, 1997, pp. 327–328.*

## (١٠) ميزان كثافة السوائل

من قبيل المفاجأة أن الأنبوب سيحافظ على وضع التوازن الخاص به داخل السائل، وأي تذبذب رأسي للمنصة لن يكون له تأثير على وضعه! فحين تتسارع المنصة لأعلى، تُعادِل قوة الطفو الإضافية للسائل القوة الدافعة لأسفل الناتجة عن ذلك التسارع. والأمر عينه يحدث في حالة أي تسارع لأسفل.

*Weltin, H. "Mechanical Paradox."* American Journal of Physics *34 (1966): 172.*

## (١١) طفل داخل سيارة يمسك بالونًا

سيميل الهواء داخل السيارة إلى أن يواصل تحرُّكه في خط مستقيم؛ لذا سيكون ضغط الهواء داخل السيارة أعلى قليلًا على الشعاع الخارجي للمنعطف. وفي هذه الحالة سيُدفَع البالون إلى اليمين، نحو الاتجاه الداخلي للمنعطف.

*Lehman, A. L. "An Illustration of Buoyancy in the Horizontal Plane."* American Journal of Physics *56 (1988): 1046.*

## (١٢) مخزون الماء خلف السد

الجواب هو: لا. فعمق الماء خلف السد الخرساني مباشرةً هو كل ما يهم؛ لأن ضغط الماء يعتمد على «عمق» الماء $h$ وعلى كثافته $p$. والضغط الإجمالي $P$ على العمق $h$ في الماء هو $P = P_0 + pgh$؛ حيث $P_0$ هو الضغط الجوي. والمقدار الإجمالي للماء الموجود في الخزان خلف السد ليس ذا صلة. كذلك لا يهم مقدار الماء الموجود في النهر فوق السد؛ فطبقة الماء الرقيقة التي يبلغ ارتفاعها ١٠ أمتار وتتصل بجسم السد تتطلَّب نفس المتانة من السد التي يتطلَّبها وجود بحيرة عرضها ١٠ أمتار خلف السد.

## (١٣) إصبع في الماء

نعم، سيختل التوازن، وستهبط كفَّة الميزان الموضوعة عليها الدلو للأسفل. يبذل الماء قوة طفو على إصبعك، وحسب قانون نيوتن الثالث، يبذل إصبعك قوة موجَّهة مساوية في المقدار ومضادة في الاتجاه على الماء، وهذه القوة تنتقل إلى قاع الدلو، وصولًا إلى كفة الميزان، وهو ما يجعل الكفة تهبط.

## (١٤) الصخرة المحمولة

يظل مستوى الماء كما هو دون تغيير؛ إذ يُزاح مقدار الماء عينه في كلا الاتجاهين.

*Hewitt, P. "Figuring Physics."* Physics Teacher *25 (1987): 244.*

## (١٥) أرشميدس في مصعد هابط

الجواب هو: لا. افترضْ أولًا أن بإمكاننا تجاهل تأثيرات التوتر السطحي. ثم لاحظ أن كلتا القوتين العموديتين — قوة الطفو إلى أعلى ووزن القطعة إلى أسفل — تتناسب طرديًّا على نحو مباشر مع قوة الجاذبية. يقلِّل التسارع الرأسي عن طريق المعادلة $g - a$ الوزنَ وقوة الطفو على نحوٍ متساوٍ؛ لذا تحافظ قطعة الخشب على موضعها في الماء.

## (١٦) ثلاثة ثقوب في وعاء معدني

الحل الوارد في الشكل غير صحيح. فتيار الماء المندفع من الثقب الأوسط سيقطع مسافة أفقية أبعد، والتياران الآخران سيقطعان المسافة الأفقية عينها.

تتحدَّد المسافة الأفقية التي يقطعها التيار بالمعادلة $s = vt$؛ حيث $v$ هي سرعة الخروج الأفقية من الثقب، و$t$ هي الوقت المستغرق في الخروج، وهو يعادل نفس الفترة الزمنية المستغرَقة في السقوط الحر (مع تجاهل تأثيرات الهواء). لنفترض أن $H$ هي الارتفاع الثابت لعمود الماء، بحيث تكون ارتفاعات الثقوب $H/4$ و$H/2$ و$3H/4$. يمكننا أن نشتق قانون تورشيلي من قانون حفظ الطاقة: بحيث إن طاقة الحركة $(1/2)mv^2$ للتيار المتدفق من الثقب تساوي الفارق في طاقة الوضع $mgh$؛ حيث $h$ هي المسافة أسفل رأس الماء. ومن هنا فإن $v = \sqrt{2gh}$. ويكون وقت السقوط الحر $t$ من الارتفاع $(H - h)$ ببساطة هو $t = \sqrt{2(H - h)/g}$. وعن طريق الضرب نحصل على التعبير الرياضي $s = 2\sqrt{h(H - h)}$، الذي يبلغ درجته القصوى عند $h = H - h$، أو $h = H/2$. وسوف يؤكد التعويض على أن التيارَيْن الآخَرَيْن ينبغي أن يضربا سطح المائدة معًا.

## (١٧) كشف سر حبل الغسيل!

التفسير الأكثر بداهة — أن الجاذبية تسحب الماء لأسفل بحيث يخرج من نسيج القماش — هو تفسير خاطئ. فالماء داخل النسيج محكوم في موضعه بين الخيوط بواسطة قوى كهربائية (أي: الفعل الشِّعري)، وتعجز قوة الجاذبية عن طرد هذا الماء. للجاذبية دور في التفسير الحقيقي، بيد أنه دور ثانوي وحسب.

البَخْر البطيء للماء إلى الهواء المجاور للملابس يبرِّد هذا الهواء، الذي يصير الآن أشد كثافةً من الهواء المحيط الأدفأ. هذا الهواء الأشد كثافةً يتحرَّك لأسفل على امتداد سطح الملابس، وهذا الهواء المتحرِّك يمتص جزيئات الماء المتبخرة؛ وبذا يصير أكثر تشبُّعًا مع هبوطه. سيكون امتصاص بخار الماء أكبر في الأعلى ويقل مع الهبوط للأسفل؛ لأنه كلما كان الهواء أكثر تشبُّعًا، قلَّت قدرته على امتصاص جزيئات الماء. وبهذا تجفُّ الملابس من أعلى لأسفل.

*Hansen, E. B. "On Drying of Laundry."* SIAM Journal on Applied Mathematics *52 (1992): 1360.*
*"Mathematics of Laundry Unveiled."* Science News *142 (1992): 286.*

## (١٨) ضغط أقل من ضغط الفراغ

بالنسبة إلى السوائل، يمكن أن تتسبَّب قوى الجذب بين الجزيئات في جعل الضغط سالبًا. عادةً ما يتبادر إلى ذهن المرء ضغطُ الغازات، الذي يمكن فقط أن يملك قيمة موجبة نتيجة قوى التنافر المرتبطة بالتصادمات بين جزيئات الغاز. لكن يمكن أن تتمتع السوائل بضغط سالب، أو موجب. بالمناسبة، الماء عند صفر باسكال له طاقة حركة جزيئية، بينما الفراغ ليس له أي طاقة.

*Kell, G. S. "Early Observations of Negative Pressures in Liquids."* American Journal of Physics *51 (1983): 1038.*
*Kuethe, D. O. "Confusion about Pressure."* Physics Teacher *29 (1991): 20–22.*

## (١٩) قارب كانو في نهر

على الأرجح لا. فبينما يقترب قارب الكانو من الفجوة سيضيق التيار، ويتدفَّق الماء عند مقدِّمة القارب بسرعة أكبر من تدفُّقه عند المؤخرة. وتكون نتيجة ذلك هي تحرُّك الكانو بشكل موازٍ لتدفُّق الماء. وأي زاوية انحراف صغيرة عن اتجاه التيار ستواجَه بعزم تصحيحي عند المقدمة أكبر من العزم المعاكس عند المؤخرة.

*Crane, H. R. "Stretch Orientation: A Process of a Hundred Uses."* Physics Teacher *23 (1985): 304.*

## (٢٠) معضلة تدفُّق الماء

يتدفَّق الماء من الأسطوانة المدرجة اليسرى إلى اليمنى، وفي النهاية يتعادل مستوى الماء في الأسطوانتين. تستجيب المنظومة للاختلاف في الضغط. يحاول الكثيرون استغلال فارق الوزن بين عمودَي الماء في التنبؤ بالسلوك الصحيح. لكن لو كان هذا الزعم صحيحًا لتدفَّق الماء في الاتجاه المعاكس.

## (٢١) الحديد في مقابل البلاستيك

مع إزالة الهواء بهدوء بحيث لا تنشأ أي تيارات حمل، يقلُّ طفو كلتا الكرتين، لكن النقص يكون أعظم في حالة الكرة البلاستيكية الأكبر حجمًا؛ وبذا تتحرك الكرة الحديدية لأسفل.

## (٢٢) حديد في الماء

الكرة المغمورة في الماء معرَّضة لقوة طفو تعادل وزن الماء في الحيِّز المُزاح بواسطة الكرة. لنطلق على ثقل الماء هذا الرمز $w$. قد نقع تحت إغراء القول بأننا كي نستعيد التوازن، ينبغي وضع وزن مقداره $w$ إلى الكفة التي عليها الحامل. ومع ذلك، وفق قانون نيوتن الثالث، القوة التي يؤثر بها الماء داخل الوعاء على الكرة المغمورة تعادل تمامًا القوة التي تؤثر بها الكرة على الماء في الاتجاه المضاد. وبالتبعية، بينما يقل وزن الكفة التي بها الحامل يزيد وزن الكفة التي بها الوعاء. ومن ثم، كي نستعيد التوازن يجب وضع ثقل وزنه $2w$ على الكفة التي بها الحامل. بالمناسبة، رأس الميزان لا يشير إلى وجود عزم غير متساوٍ. فيمكن لجسمين أن يتعادلا عند أي زاوية للرأس.

## (٢٣) مفارقة الساعة الرملية

مصدر المفارقة هو أن قوة الطفو ينبغي أن تكون واحدة في جميع الأوقات عندما تكون الساعة الرملية مغمورة في الماء بالكامل، لكن يبدو أن سلوك الساعة يناقض هذه القاعدة.

عندما تُقلَب الأسطوانة وتنقلب الساعة فإن زاوية الميل الهزيلة تدفع زجاج الساعة قُبالة الأسطوانة الزجاجية؛ حيث يعمل الاحتكاك الناتج عن التَّماسِّ والتوتر السطحي للماء على منع الحركة لأعلى. وعند سقوط ما يكفي من الرمال إلى قاع الساعة الرملية، يقلُّ العزم الذي يُميل الساعة الرملية بدرجة كبيرة. وعندها تصير قوة الطفو لأعلى أكبر من القوى المعاكسة — الوزن والاحتكاك الناتج عن التَّماس والتوتر السطحي — ومن ثم تصعد الساعة إلى أعلى.

*Gardner, M. Scientific American 215 (1966): 96.*

*Reid, W. P. "Weight of an Hourglass."* American Journal of Physics *35 (1967): 351.*

## (٢٤) بالون داخل دورق

أولًا اقلب البالون على نفسه، ثم سخِّن حوالي ٥ ملِّيلترات من ماء الصنبور في دورق فلورنس (المعروف باسم قارورة الغليان) إلى أن يغلي الماء بقوة. أغلب الهواء الموجود داخل الدورق سيحلُّ محله هواء ساخن مع بخار ماء. ارتدِ قفَّازًا مطاطيًّا للحماية، ثم افرد فم البالون على فم الدورق بسرعة. هذا الإجراء الأخير يجب عمله بسرعة شديدة كي تمنع قدرًا كبيرًا من الهواء الخارجي من أن يعاود الدخول في الدورق.

بعد توقُّف الماء عن الغليان، يبرد الدورق وينخفض ضغط بخار الماء بسرعة، وينفخ الهواء الخارجي البالون داخل الدورق.

*Louvière, J. P. "The Inscrutable, Open-Ended Toy Balloon."* Physics Teacher *27 (1989): 95.*

## (٢٥) استجابة الغوَّاص الديكارتي

الضربة القوية الموجَّهة لسطح الطاولة ترسل مقدِّمة صدمة انضغاطية نحو قاع الوعاء ومنه إلى الماء وصولًا إلى الغواص؛ بحيث تقلِّل لحظيًّا من حجم الهواء. وإذا كانت قابلية الطفو هامشية بالأساس، فسيهبط الغواص إلى القاع.

*Orwig, L. P. “Cartesian Diver ‘Tricks.’”* American Journal of Physics *48 (1980): 320.*

## (٢٦) حركة أبدية

كل سائل يبذل قوًى عمودية فقط على سطح الأسطوانة؛ لذا لا وجود لأي عزم؛ ومن ثم لا يوجد دوران.

*Miller, J. S. “An Extraordinary Device.”* Physics Teacher *17 (1979): 383.*

## (٢٧) الفقاعة المزدوجة

ستصير الفقاعة الأكبر أكبر حجمًا، بينما ستصير الفقاعة الأصغر أصغر حجمًا؛ وذلك لأن ضغط الهواء داخل فقاعة الصابون يقلُّ مع زيادة قطرها. وبشكل تقريبي، لأي فقاعة كروية قطرها $R$، تتساوى قوة التوتر السطحي $2\pi RT$ مع القوة التي يوفرها ضغط الهواء الداخلي $4\pi R^2P$، وهو ما يؤدي إلى الضغط $P \propto 1/R$. في حالة البالونين، سيجبر البالون الأكبر الهواء على الدخول في البالون الأصغر إلى أن يصيرا متساويين.

## (٢٨) الماصة

لا شيء سيحدث! فالماء سيظل داخل الماصة؛ إذ إن الضغط داخل الماصة يقل عن الضغط الجوي (عليك أن تحرص على أن يكون الثقب كبيرًا بما يكفي، بحيث يلعب التوتر السطحي دورًا ثانويًّا وحسب).

## (٢٩) المنطاد

يعتمد التفسير الحقيقي على كثافة المنطاد نسبةً إلى كثافة الهواء المحيط. الهواء داخل المنطاد يضيف وزنًا إلى المنطاد، سواء أكان هذا الهواء باردًا أم ساخنًا. وما يفعله الهواء الأشد سخونة هو أنه يدفع جدران المنطاد للخارج بدرجة أكبر كي يزيد حجمه؛ ومن ثم يقلِّل من الكثافة. وحينها يرتفع المنطاد عاليًا!

## (٣٠) تحسين القنوات المائية الرومانية

الجواب هو: نعم؛ إذ يمكن أن يتدفَّق الماء فوق تلٍّ أعلى من مصدر الماء. هذا النوع من الأدوات يُطلَق عليه اسم السيفون. وسيعمل السيفون على النحو الأمثل لو ظلَّ تدفُّق الماء صفائحيًّا؛ أي أن يكون غير مضطرب. وهذا الشرط لا يمكن الوفاء به إلا من خلال جعل المقطع المستعرِض للأنبوب يتباين باختلاف ارتفاعه. وتُملي اعتبارات الطاقة أن يتدفَّق الماء على نحو أَبطأ عند الارتفاعات العالية على امتداد الرحلة؛ لذا يجب أن تكون المقاطع المستعرَضة أكبر في الارتفاعات الأعلى حتى يمكن الحفاظ على معدل التدفق عينه.

*Benenson, R. E. "The Hyphenated Siphon."* Physics Teacher *29 (1991): 188.*
*Ansaldo, E. J. "On Bernoulli, Torricelli, and the Siphon."* Physics Teacher *20 (1982): 243.*

## (٣١) تحدي الأكواب

استخدِم إحدى أدوات التقليب الإضافية كي تنفخ الهواء في الكوب (أ) في أي نقطة يتصل عندها بالكوب (ب). سيسقط بعض الماء من الكوب (أ) إلى الكوب (ج) بينما يشغل الهواء الحيز الأعلى من الكوب.

*Schreiber, J. T. "Barroom Physics."* Physics Teacher *13 (1975): 361, 378.*

## (٣٢) ضغط الإطار

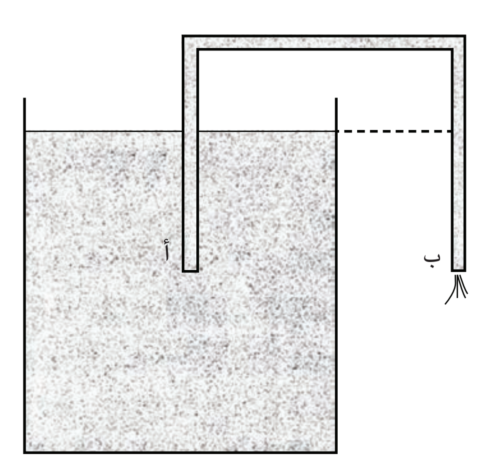
سيكون ضغط الإطار في كلتا الحالتين متساويًا تقريبًا. ورغم أن حجم الإطار سيختلف في الحالتين فإن هذا الاختلاف سيكون صغيرًا. سيكون ضغط الهواء أكبر قليلًا عندما يساعد الهواء في دعم وزن السيارة. وفي الواقع، تقدِّم جدران الإطار الصُّلبة القَدْر الأكبر من الدعم للسيارة.

## (٣٣) السيفون*

في هذا التحليل لكيفية عمل السيفون، سنتدبَّر الحالة المثالية: سائل غير لَزِج غير قابل للضغط، دون وجود تبديد للطاقة، ووعاء كبير ذو مقطع مستعرِض كبير للغاية مقارنةً

بقُطْر أنبوب السيفون، بحيث يكون مستوى السائل ثابتًا بالأساس. والنهج الأفضل هو إدراك أن طريقة عمل السيفون تعتمد على نموذج ديناميكي حركي، لا استاتيكي ساكن. ومع ذلك، يمكننا استخدام النموذج الاستاتيكي كي نفسِّر كيفية بدء عمل السيفون.

البدء: أنبوب السيفون له طرف (أ) في السائل، والطرف (ب) في الخارج. إذا كان الطرف (ب) أكثر انخفاضًا من الطرف (أ)، وقمنا بضخ السائل في الأنبوب حتى امتلأ بالكامل، فحينها سيكون الضغط داخل الطرف (ب) أكبر قليلًا من الضغط الجوي؛ ومن ثم يتدفَّق السائل عبر السيفون. ويستمر هذا التدفُّق إلى أن يصل الضغط داخل الطرف (ب) إلى الضغط الجوي، ويحدث الانخفاض في الضغط؛ لأن المستوى داخل وعاء السائل يقلِّل مستوى رأسه. عندئذٍ، إذا لم نخفض مستوى الطرف (ب)، فسيتوقف التدفق في نهاية المطاف. في حالتنا المثالية التي بها وعاء ضخم للغاية مليء بالسائل، يستمر التدفق إلى الأبد.




النظرية الديناميكية للحالة المثالية وفي حالة عدم وجود أي «اضطراب»: ثمة معادلتان يجب المزج بينهما كي نفهم بشكل تام طريقة عمل السيفون؛ أولًا: لدينا معادلة برنولي للنقاط على امتداد خط التدفق، والتي تفسر حفظ الطاقة:

$$P_a + pgh_a + \frac{1}{2}pv_a{}^2 = P_b + pgh_b + \frac{1}{2}pv_b{}^2,$$

حيث $a$ نقطة على خط التدفق، و$b$ نقطة أخرى، و$p$ الضغط، و$h$ الارتفاع، و$v$ سرعة السائل، و$P$ كثافة السائل، و$g$ عجلة الجاذبية. ثانيًا: هناك معادلة استمرارية السائل لحجم السائل في الثانية $Q/t = Av$؛ حيث $A$ مساحة المقطع المستعرض الموحدة لأنبوب السيفون. في حالة الواقعية التي بها لزوجة، ستكون هناك حاجة لمعادلة ثالثة؛ هي معادلة بوزواي.

نطبِّق الآن المعادلات المذكورة عالِيه على حالة السيفون. على كل النقاط الموجودة داخل الأنبوب يكون الضغط أقل من الضغط الجوي المحيط $P_0$، ربما باستثناء الطرف (ب). على سبيل المثال، هَب أن النقطة $a$ موجودة داخل الأنبوب على نفس ارتفاع سطح السائل الخاص بالوعاء الكبير، وأن النقطة $b$ موجودة داخل الأنبوب في أعلى السيفون على مسافة قدرها $h$ فوق سطح السائل. في هذه الحالة سنحصل على المعادلة $P_0 = P_b + pgh_b + (1/2)pv_b{}^2$، أو $P_b = P_0 - pgh_b + (1/2)pv_b{}^2$، وهو ما يبين أن الضغط الداخلي أقل من ضغط الهواء الخارجي. لاحظ أن $P_0$ يمكن أن تُضبَط على القيمة صفر إذا أردنا أن نعمل في الفراغ.

الآن نبيِّن أن اختلاف الضغط خارج الطرف (أ) مباشرةً في السائل وداخل الطرف (أ) مباشرةً في الأنبوب هو «المحرِّك» الذي يقود عمل السيفون. في حالة أنبوب ذي تجويف منتظم، ستكون سرعة التدفق $v$ واحدة في كل أرجاء الأنبوب. وخارج الطرف (أ) يكون الضغط $P_0 + pgh_a$ بينما يكون الضغط داخل الطرف (أ) مباشرة $P_0 + pgh_a - (1/2)pv_a{}^2$؛ حيث تكون علامة السالب صحيحة. وبهذا ينخفض الضغط بالمقدار $(1/2)pv_a{}^2$ عبر مدخل الأنبوب.

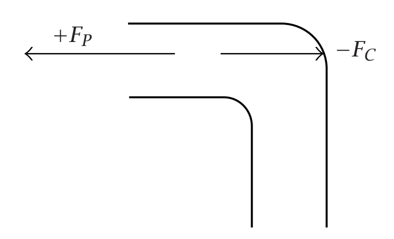
لاحظ أن حركة السائل لها دور محوري في تفسير عمل السيفون؛ لذا فإن النماذج الاستاتيكية غير وافية. أيضًا، الضغط الجوي $P_0$ يتلاشى تأثيره؛ ومن ثم لا يحرك السائل إلى أعلى الأنبوب.

*Ansaldo, E. J. "On Bernoulli, Torricelli, and the Siphon."* Physics Teacher *20 (1982): 243.*

*Benenson, R. E. "The Hyphenated Siphon."* Physics Teacher *29 (1991): 188.*

## (٣٤) رشاش الماء المعكوس*

يملي قانون حفظ الزخم الزاوي أن يدور الرشاش على نحو متعاكِس في كلا الوضعين المعكوسين، وهو ما يحدث فعلًا. ليس بوسعنا استخدام التحليل الزمني المنعكس في هذه الحالة؛ لأنه في الوضع الذي يُرَشُّ فيه الماء للأمام — وضع الرشاش الطبيعي — يكون ضغط الماء أقل في الوسط المحيط عند أطراف الفوهات. وعرض فيلم مصوَّر لهذا الوضع الطبيعي على نحو معكوس لن يكافئ وضع العمل العكسي؛ لأن مناطق الضغط داخل الفوهات لن تنعكس. والطريقة الوحيدة التي يستطيع بها الماء أن يدخل الرشاش من أطراف الفوهات هي أن يوجد في الوسط المحيط ضغطٌ أعلى من الضغط الموجود بالداخل. ثمة مصدر آخر للتعقيد: في الوضع العكسي يأتي الماء الداخل للرشاش من كل الاتجاهات؛ ومن ثم فإن الماء الموجود فقط في الفوهات سيشارك في الزخم الزاوي للمنظومة، بينما في الوضع العادي سيشارك كل الماء الموجود.




للتبسيط، هَبْ أن الماء ليس له أي مقاوَمة ناتجة عن اللزوجة داخل الفوهات. تدبَّر أولًا القوى المستعرَضة (قوى الدوران التي لا تعمل على امتداد الاتجاه الشعاعي) المؤثِّرة على الماء الداخل: $-F_P$، الاختلاف في ضغط السائل الذي يدور في اتجاه عقارب الساعة وإلى الداخل عند طرف الفوهة مضروبًا في مساحة فتحة الفوهة، والقوة $+F_C$ التي تغير تدفق الماء من الاتجاه المستعرض إلى الشعاعي عند المنعطف بالداخل. هاتان القوتان تعملان في اتجاهين متعاكسين. ثانيًا تدبَّرْ قوى ردِّ الفعل المكافِئة المؤثِّرة على الفوهة في الاتجاه المستعرض: $+F_P$ التي تعمل في عكس اتجاه عقارب الساعة وإلى الخارج عند فتحة الفوهة والقوة $-F_C$. قبل الوصول إلى حالة تدفق ثابتة، تكون $+F_P$ أكبر من $-F_C$؛ لذا يدور الرشاش المعكوس على نحو معكوس في الماء نسبة إلى الرشاش الطبيعي.

بيد أن الرشاش المعكوس العامل في الهواء يتصرف على نحو مختلف (!)، وثمة مقارنة بين هاتين الحالتين في مقال كلٍّ من كوليير وبيرج وفيريل.

*Berg, R. E., and M. R. Collier. "The Feynman Inverse Sprinkler Problem: A Demonstration and Quantitative Analysis."* American Journal of Physics *57 (1989): 654–657.*

*Collier, M. R.; R. E. Berg; and R. A. Ferrell. "The Feynman Inverse Sprinkler Problem: A Detailed Kinematic Study."* American Journal of Physics *59 (1991): 349–355.*

*Schultz, A. K. "Comment on the Inverse Sprinkler Problem."* American Journal of Physics *55 (1987): 488.*

## (٣٥) قُطَيْرات الماء المندفعة*

تقترن الطاقة بالكوب المنزلق بينما تدفعه اليد على صورة تذبذُب متراخٍ؛ أي في وضع اهتزاز من الانزلاق/الالتصاق المتتالي بينما يعلَق السطح المستوي تقريبًا للكوب بالسطح الخشبي المصقول ويتحرَّر منه. ومع الاقتران الجيد وسرعة الانزلاق المناسبة، تنشأ موجات ساكنة على الفور على سطح السائل. وتتسبَّب دفعة متواصلة ثابتة للكوب في خَلْق زخم كافٍ لأعلى عند القمم الموجية في بُعدين بما يسبِّب انفصال قُطَيْرات الماء عن سطح الماء السائل واندفاعها فوق الكوب عاليًا.

*Keeports, D. "Standing Waves in a Styrofoam Cup."* Physics Teacher *26 (1988): 456–457.*

الفصل الرابع

# الطيران

## (١) رحلة ذهاب وإياب رأسية

أحيانًا تستغرق رحلة العودة للأسفل وقتًا أكبر من رحلة الصعود للأعلى. على سبيل المثال، يمكن لطائرة شراعية ورقية قُذفت رأسيًّا لأعلى أن تتهادى في رحلة هبوطها ببطء كبير. لكن بالنسبة إلى كثير من الأجسام، سيكون وقت السفر الإجمالي أقل. ففي حالة وضع التأثيرات الجوية في الاعتبار لن ترتفع كرةٌ أو سهمٌ قُذِفَ لأعلى إلى الارتفاع عينه لو امتلك نفس السرعة الابتدائية، وسيكون زمن رحلة الذهاب والإياب أقل مقارنةً بحالة السقوط الحر. أيضًا يمكن أن نبيِّن أن الكرة تستغرق زمنًا أكبر في السقوط مقارنةً بالصعود؛ لأنه على كل الارتفاعات تكون سرعة الهبوط أقل من سرعة الصعود عند الارتفاع عينه.

*Pomeranz, K. B. "The Time of Ascent and Descent of a Vertically Thrown Object in the Atmosphere."* Physics Teacher *7 (1969): 507–508.*

## (٢) طريق طويل إلى الأرض

إجابة السؤال الأول هي: لا؛ فالسرعة النهائية لا تعتمد على الارتفاع الذي تُسقَط منه الكرة. ورغم أن الأجسام التي تُسقَط من ارتفاعات عالية — ثلاثة كيلومترات أو أكثر — يمكنها أن تصل إلى سرعات تصل إلى مئات الأمتار في الثانية، فإن سرعاتها النهائية تكون كلها واحدة بالقرب من الأرض؛ حيث تتناسب قوة مقاومة الهواء طرديًّا مع مربع السرعة. هل يمكن لكرة ثانية أن تتجاوز الكرة الأولى؟ سيحدث هذا فقط لو قُلِّلت

تأثيرات الهواء المُعيقة لحركتها بواسطة الكرة الأولى أثناء سقوطها بحيث تسقط الكرة الثانية بسرعة أكبر.

*Shea, N. M. "Terminal Speed and Atmospheric Density."* Physics Teacher *31 (1993): 176.*

## (٣) مراجعة تحدي جاليليو

قوى الطفو للكرتين واحدة، لكن كرة البولينج تزيد في الوزن. وبتطبيق قانون نيوتن الثاني، تمتلك كرة البولينج عجلة هبوط ابتدائية أكبر، وهذه الحالة تستمر طوال الهبوط. تستشعر كرة البولينج قدرًا أكبر قليلًا من قوة مقاومة الهواء في طريقها لأسفل؛ نظرًا لتحرُّكها بسرعة أكبر، لكن الكرة البلاستيكية لا تلحق بها مطلقًا.

*Nelson, J. "About Terminal Velocity."* Physics Teacher *22 (1984): 256–257.*
*Toepker, T. P. "Galileo Revisited."* Physics Teacher *5 (1967): 76, 88.*
*Weinstock, R. "The Heavier They Are, the Faster They Fall: An Elementary Rigorous Proof."* Physics Teacher *31 (1993): 56–57.*

## (٤) مفارقة الأجسام الساقطة

الجسم الساقط سيلمِس الأرض أولًا! أما بالنسبة إلى الجسم المقذوف أفقيًّا، ينتج قانون نيوتن الثاني عجلة في الاتجاه الرأسي $a = -g + BV(v/m)$؛ حيث $g$ عجلة الجاذبية، و$B$ ثابت للزوجة الهواء، و$V$ مقدار السرعة اللحظية الكبير للجسم، و$v$ قيمة مركَّبِه في الاتجاه الرأسي، و$m$ كتلته. يخبرنا حدُّ المعادلة الثاني أن مقدار العجلة الرأسية للجسم المقذوف أقل من مقداره في حالة الجسم الساقط، الذي تكون عجلته الرأسية $-g + Bv(v/m)$؛ وذلك لأن $V \gg v$.

عند تدبُّر تأثير انحناء سطح الأرض على زمن رحلة قذيفة المدفع المُطلقة أفقيًّا، يمكننا استخدام عدد من النُّهُج المختلفة. ثمة نَهج بسيط يتمثَّل في دراسة الحالتين القصويين المقيَّدتين: (١) سرعة أفقية ابتدائية مقدارها صفر، بحيث تسقط قذيفة المدفع مثل الجسم الأول لأسفل، و(٢) تخرج قذيفة المدفع بسرعة أفقية تُنتِج مدارًا دائريًّا

(أو شبه دائري)، بحيث يكون وقت الرحلة كبيرًا للغاية. وكل الحالات الأخرى التي تهمُّنا والخاصة باصطدام القذيفة بالأرض تقع بين هاتين الحالتين. ومن ثم، تصل قذيفة المدفع الساقطة إلى الأرض أولًا. أيضًا يمكننا تحليل الحركة بواسطة تدبُّر تأثير قوة الطرد المركزية على السقوط الشعاعي للجسم.

## (٥) مركب الجليد

الجواب هو: نعم. فرغم أن مركب الجليد مقيَّد بالتحرك في اتجاه دعاماته، فإن هذا السلوك يمنحه ثباتًا في مواجهة الدفع الجانبي للرياح. وكما هو الحال بالنسبة إلى المركب الشراعي العادي الذي يبحر في المياه، فإن مركب الجليد يمكنه التحرُّك أسرع كثيرًا من الرياح التي تدفعه. ويمكن للمرء ببساطة أن يضبط اتجاه الشراع على نحو ملائم حين يكون المركب في اتجاه الرياح؛ بحيث يكون هناك مُركَّب أمامي صغير من قوة الرياح على الشراع بالإضافة إلى مُركَّب القوة الجانبي. وبعض مراكب الجليد يمكنها الوصول إلى سرعات تزيد مرتين أو ثلاث مرات عن سرعة الرياح.

## (٦) سفينة فلتنر التوربينية

اتجاه دوران الأسطوانة الرأسية له أهميته. فمن أجل استغلال تأثير برنولي، عليك أن تخلق ضغطًا أمام الأسطوانة الدوَّارة يكون منخفضًا مقارنةً بالضغط خلفها. وتحت أي ظروف، حين تتجه السفينة إلى الغرب وتكون الرياح آتية من الجنوب، ينبغي أن تدور الأسطوانة في اتجاه عقارب الساعة عند النظر إليها من أعلى. بالنسبة إلى المقدمة، تُضاف سرعة الهواء إلى السرعة المماسية الدوارة للأسطوانة. وبالنسبة إلى المؤخرة، تكون سرعة الهواء والسرعة المماسية متعاكستين وتقلِّل إحداهما من الأخرى. يقضي تأثير برنولي بأنه في وجود ضغط منخفض في المقدمة، تندفع السفينة إلى الأمام بواسطة تأثيرات الرياح.

*Barnes, G. "A Flettner Rotor Ship Demonstration."* American Journal of Physics *55: 1040–1041.*

## (٧) قوة الرفع أكبر، أليس كذلك؟

عندما يكون معدَّل الارتفاع ثابتًا، تكون قوة الرفع «أقل» من وزن الطائرة. فقوة الدفع لها مُركَّب دافع لأعلى، وهو يضيف إلى قوة الرفع؛ من أجل موازنة الوزن.

معظم الناس يعتقدون أن الطائرات ترتفع لأعلى؛ لأن قوة الرفع تفوق وزن الطائرة، وهو نهج خاطئ يعتمد على الحدْس. في أبسط الحالات لا تتسارع الطائرة في أي اتجاه. وعلى امتداد الخط العمودي على الجناح (أي على امتداد اتجاه الرفع)، تكون محصِّلة القوى $L - W \cos \alpha = 0$؛ حيث $L$ قوة الرفع، و$W$ الوزن، و$\alpha$ زاوية الصعود. ومن ثم، مهما اختلفت زاوية الصعود لا بد أن تكون قوة الرفع أقل من الوزن.

*Flynn, G. J. "The Physics of Aircraft Flight."* Physics Teacher *25 (1987): 368–369.*

## (٨) أطواف

على امتداد المياه المتدفِّقة، تعمل قوى اللزوجة على تسريع طبقات من الماء في النهر أو إبطائها. الماء قُرب الضفتين وقُرب قاع النهر يقع تحت تأثيرات المقاومة الخاصة بالماء شبه الراكد المتصل بهذه الأسطح الصلبة. في الوقت عينه، يحاول الماء المتدفِّق البعيد عن هذه الأسطح أن يسبِّب تسارع الماء شبه الراكد من خلال تأثيرات اللزوجة. تتكوَّن طبقة فاصلة؛ بمعنى أنه تتكوَّن طبقة من التيار المعيق. وفي النهاية يتشكَّل عادةً نمط من التدفق الثابت، تزيد فيه السرعة إلى الداخل نحو مركز النهر وإلى الأعلى من القاع، بحيث تصل سرعته القصوى قرب المنتصف أدنى سطح الماء مباشرة.

يحدث معدَّل التدفق الأقصى على مسافة قصيرة أدنى السطح؛ لأن الهواء فوق السطح يبذل قوة مقاومة على المياه. ومن ثم، سيُدفَع الطوف المحمَّل بحمولة أثقل؛ نظرًا لغوصه لمسافة أعمق في المياه، بواسطة تيار أسرع، ويتحرك بسرعة تفوق سرعة الطوف المحمَّل بحمولة أخف.

## (٩) متناقِضة دوبوا

تكون مقاومة الماء أقل عادةً حين تُحمَل العصا في تيار متحرِّك. ففي أي سائل ستكون هناك مقاومة الاحتكاك ومقاومة الشكل. مقاومة الاحتكاك في حالة الأجسام غير الانسيابية

تكون غير ذات أهمية عند مقارنتها بمقدار مقاومة الشكل. ستكون جزيئات الماء التي على اتصال بالعصا في التيار ساكنة تقريبًا، وهناك طبقة فاصلة من التيار المرتد من العصا حتى مسافة معتبرة، تعادِل قُطْر العصا عدة مرات.

التيارات المتدفِّقة تكون مضطربة إلى حدٍّ ما، وهذا الاضطراب يحثُّ على حدوث انتقال في الطبقة الفاصلة المحيطة بالعصا. نتيجة لهذا، تتلقَّى الطبقة الفاصلة البطيئة الحركة طاقةَ حركة إضافية من التيار الحر، وتبتعد عن العصا دون أن تنفصل عنها بمقدار أكبر مما يحدث بصورة طبيعية. تقلُّ مقاومة الشكل؛ ومن ثم تقلُّ المقاومة الإجمالية؛ نظرًا لأن مقاومة الاحتكاك ليست ذات أهمية هنا.

## (١٠) شَكْلَا الجناح في تيار الهواء

على سرعة هواء منخفضة مقدارها ٣٠٠ كيلومتر في الساعة، سيقابَل الوضع (أ)، الذي فيه تكون الحافة المستديرة إلى الأمام، بمقاومة أقل. ففي حالة «الطيران المنخفض السرعة» هذه خلال مائع منخفض الكثافة يكون عدد رينولدز $R \gg 1$؛ لذا يكون لقوى اللزوجة تأثيرات طفيفة وحسب.

## (١١) شَكْلَا الجناح في تيار الماء

تكون لقوى اللزوجة الهيمنة عند سرعات الماء المعقولة على غرار ٢٠ عقدة. هنا يكون عدد رينولدز $R < 1$؛ ومن ثم تكون المقاومة أقل في الحالة (ب).

## (١٢) سلك في مقابل جناح

الجناح هو الذي سيُنتج مقاوَمة أقل. فرغم أنه أكثر سمكًا بعشر مرات، فإن شكله الانسيابي يُنتِج مقاومة أقل قليلًا عن السلك المستدير؛ لأنه يمنع حدوث اضطراب هوائي على الجزء الخلفي من الشكل عندما يتدفَّق الهواء متجاوزًا إياه. فمنطقة الهواء المضطربة خلفه تكون منطقة ضغط منخفض، وهو ما يُنتِج محصلة قوى تجذب الجسم للخلف، وهو ما يسهم على نحو فعَّال في مقاومة التيار. يقلِّل شكل الجناح من تكوُّن الاضطراب بدرجة كبيرة، مقارنةً بالمقطع العرضي للسلك.

## (١٣) أجنحة ذات ثقوب

تيار الهواء أعلى وأسفل الجناح التقليدي يتشتَّت إلى اضطراب هوائي، وتزداد المقاومة. لكن من خلال صُنع هذه الثقوب و«امتصاص» الهواء المضطرب عبر تلك الثقوب تقلُّ المقاومة بدرجة كبيرة. والمقاومة الأقل تعني الحاجة إلى وقود أقل؛ ومن ثم نفقات تشغيلية أقل.

*Browne, M. W. "New Plane Wing Design Greatly Cuts Drag to Save Fuel."* New York Times, *September 11, 1990, pp. C1, C9.*

## (١٤) أطباق اللَّعب الطائرة المصمَتة

حين يكون مركز الرفع متقدِّمًا على مركز الجاذبية، من شأن الميل الطفيف الذي يحرِّك مقدِّمة الطبق (ومركز الجاذبية) لأعلى أو لأسفل أن يمثِّل حالةً غير مستقرة لو لم يكن الجسم يدور حول نفسه. لكن في وجود الزخم الزاوي للدوران، يتسبَّب هذا الميل في حدوث تقدُّم بطيء لمحور الدوران، على نحو شبيه بما يحدث في الجيروسكوب. يخلق التذبذب الناتج قدرًا كبيرًا من الاضطراب الهوائي ويزيد من مقاومة الطيران، وهو ما يقلِّل من مسافة الطيران المقطوعة.

*Crane, R. "Beyond the Frisbee.''* Physics Teacher *24 (1986): 502–503.*

## (١٥) أطباق اللَّعب الطائرة المجوَّفة

تحلُّ أطباق اللَّعب الطائرة المجوَّفة بعضًا من المشكلات الديناميكية الهوائية المذكورة أعلاه والتي تعاني منها الأطباق المصمَتة. فالأطباق المجوَّفة لها حافة خارجية تعمل بمنزلة «كابح» يجعل تيار الهواء يتشتَّت بعيدًا عن سطح الجزء «المتقدِّم» من الجناح، وهو ما يسبِّب حدوث بعض الاضطراب الهوائي. هذا الجزء المتقدِّم يفقد بعضًا من قوة الرفع، لكن الآن يصير مركز الرفع قريبًا للغاية من مركز الجاذبية بدلًا من أن يكون متقدِّمًا عليه. وإجمالًا، يحدث قدر أقل من الاضطراب الهوائي مقارنةً بالحالة السابقة، حين كان هناك المزيد من التذبذب المرتبط بتقدُّم محور الدوران. وبناءً عليه تعني

المقاومة الأقل أن الأطباق المجوَّفة يمكنها أن تقطع مسافات أكبر من الأطباق المصمَتة. كم سيكون من الرائع لو تمكنَّا من التخلُّص من الاضطراب الهوائي تمامًا!

*Crane, R. "Beyond the Frisbee.''* Physics Teacher *24 (1986): 502–503.*

## (١٦) الطائرات الورقية ١

يجب أن تُضبَط الزاوية بين مقدِّمة الطائرة الورقية واتجاه الرياح من أجل تحقيق الأداء الأمثل. في حالة سرعات الرياح الشديدة يجب أن تكون زاوية المواجهة أصغر، وإلا فستصير الطائرة الورقية غير ثابتة، وربما تتفكَّك. بينما ترتقي الطائرة الورقية لارتفاعات أكبر، تزيد عادةً سرعة الرياح ولا تعود زاوية المواجهة قريبة من الوضع الأمثل. يستطيل الزُّنْبُرك أو الشريط المطاطي استجابةً لقوة الرياح من أجل ضبط زاوية المواجهة. يمكن لذيل الطائرة الورقية أن يساعد في تقليل مشكلات الثبات، لكنْ هناك حدود لمدى فاعليته.

*Walker, J. "Introducing the Musha, the Double Lozenge, and a Number of Other Kites to Build and Fly."* Scientific American *257 (1978): 156–161.*

## (١٧) الطائرات الورقية ٢

المراسي مستدقَّة الأطراف؛ بحيث إن الهواء الداخل من الجانب المواجِه للرياح يسرع ويخرج من الجانب في اتجاه الرياح. هذا التيار المتواصل، الذي يتحرَّك بسرعة أكبر من سرعة التيار المحيط، يساعد في الحفاظ على التوجُّه المناسب للمراسي، بحيث تساعد في إخماد أي تحركات جانبية. بعبارة أخرى: أيُّ خلل في محاذاة المراسي يحرِّك الهواء الخارج إلى منطقة مرتفعة الضغط، وهذه تعيد الهواء نحو المراسي مرة أخرى.

*Walker, J. "Introducing the Musha, the Double Lozenge, and a Number of Other Kites to Build and Fly."* Scientific American *257 (1978): 156–161.*

## (١٨) مظلَّات الهبوط

مظلَّة الهبوط التي ليس بها ثقب تخلق بالتناوب دواماتٍ على الجوانب المتقابلة للمظلة، وتستجيب المظلة بأن تتمايل أكثر وأكثر. بينما يجتاز الهواء الحواف، يكون الضغط في الدوامة أقل من ضغط الهواء المحيط، ويبدأ التمايل، وتزداد شدة التمايل مع كل دفعة دورية. تكسر الفتحات الموجودة أعلى المظلة هذه الدوامات كي تقلِّل من التمايل.

## (١٩) سلوك غريب لخليط

هذا الخليط عبارة عن سائل كهربائي ريولوجي؛ أي سائل تتأثَّر لُزُوجته بالمجالات الكهربائية. لا الزيت ولا نشا الذرة موصِّلان للكهرباء، وإنما هما عازلان للكهرباء. كي ينساب السائل، على الزيت أن يتدفَّق، وعلى جزيئات نشا الذرة أن تتحرَّك مع الزيت متجاوزًا بعضُها بعضًا.

المجال الكهربائي يستقطب جسيمات نشا الذرة، وتتكوَّن خيوط من نشا الذرة داخل الزيت كي تقاوم حركة الزيت. هذه الخيوط لا يمكنها التحرُّك بعضها حول بعض بسلاسة؛ لذا يصير الزيت أكثر لزوجةً. يمكنك أيضًا أن تحرِّك الجسم المشحون حتى مسافة قريبة من سطح السائل، بينما يستقر في كوبٍ كي ترى تكوُّن انبعاج مؤقَّت في السطح.

*Haase, D. "Electrorheological Liquids."* Physics Teacher *31 (1993): 218–219.*

## (٢٠) كَاتشب

الكاتشب من السوائل التي تسيل بالرَّجِّ؛ أي إن لُزُوجته تقلُّ مع ازدياد سرعة تدفُّقه. ظاهريًّا، يتسبَّب التدفق في اصطفاف السلاسل والجدائل بمحاذاة اتجاه التدفق بما يقلِّل مقاومة التدفق.

## (٢١) خرطوم حديقة ملفوف

عند صبِّ الماء عبر القمع، بحيث يملأ اللفة الأولى، سيسقط بعض الماء نحو قاع اللفة الثانية. سيتكوَّن احتباس هوائي عند قمة اللفة الأولى. وإذا صُبَّ المزيد من الماء في القمع، فسيتكون المزيد من الاحتباسات الهوائية عند قمم اللفات إلى أن يكون ضغط عمود الماء أسفل القمع غير كافٍ لدفع الماء إلى أعلى اللفات للتخلص من احتباسات الهواء. وفيما وراء هذه النقطة، لن يدخل المزيد من الماء إلى الخرطوم. ولن يخرج أيٌّ من الماء من الطرف الآخر.

## (٢٢) الماء المتدفِّق من أنبوب

السائل غير النيوتوني، على غرار السائل البوليمري الطويلِ السلاسلِ، ينتشر للخارج عند خروجه من الفتحة مباشرةً. تتشابك الجزيئاتُ الطويلةُ السلاسلِ معًا، ويزداد تشابكها وتشغل مزيدًا من الحجم، وذلك على النقيض من السائل الطبيعي.

*Bird, R. B., and C. F. Curtiss. "Fascinating Polymeric Liquids."* Physics Today *37 (1984): 36–43.*

*Walker, J. "… More about Funny Fluids."* Scientific American *259 (1980): 158–170.*

## (٢٣) كُرَتان في سائل لَزِج نيوتوني

تلحق الكرة الثانية بالكرة الأولى وتصطدم بها. كلتا الكرتين تتباطآن بالطريقة نفسها. وإذا كانتا صغيرتين للغاية، فسيتم الحفاظ على مسافة انفصال بينهما. لكن حين تمتلكان حجمًا ماديًّا، ستتلامسان في النهاية لو لم يكن مسار السائل طويلًا بما يكفي.

*Bird, R. B., and C. F. Curtiss. "Fascinating Polymeric Liquids."* Physics Today *37 (1984): 36–43.*

## (٢٤) كُرَتان في سائل لَزِج غير نيوتوني

هناك حلَّان للكُرَتين المتحرِّكتين داخل سائل غير نيوتوني. إذا أُسقِطت الكرة الثانية بسرعة كبيرة عقب الأولى، فستقترب الكرة الثانية من الكرة الأولى وتصطدم بها، للسبب عينه كما في حالة السائل النيوتوني حين يكون للكرتين حجم ماديٌّ.

ومع ذلك، إذا كان التأخير في إطلاق الكرة الثانية أكبر من الفترة الزمنية الحرجة، فستبتعد الكرتان إحداهما عن الأخرى أثناء السقوط. فحركة الكرة الأولى خلال السائل زادت من لُزُوجته بالنسبة إلى الكرة الثانية؛ إذ تسبَّب الانفصال الذي سبَّبته الكرة الأولى في زيادة اللزوجة.

*Bird, R. B., and C. F. Curtiss. "Fascinating Polymeric Liquids."* Physics Today *37 (1984): 36–43.*

## (٢٥) كائنات مجهرية في بيئات ذات عدد رينولدز $R < 10^{-4}$

يُقاس عدد رينولدز لأي سائل تجريبيًّا، وهو مهم في تحديد الوقت الذي يصير فيه السائل الصفائحي مضطربًا. عند قِيَم عدد رينولدز المنخفضة للغاية هذه، يكون التدفق صفائحيًّا، وينعكس كل فعل بدرجة شبه تامة. من منظور الحركة يكون اتجاه الزمن عديم المعنى فعليًّا. فالزمن المنقضي في ضربة السوط للأمام، والزمن المختلف الخاص بالضربة المنعكسة لا يُحدثان أي فارق. وحدها تغيُّرات الشكل هي ما يهم؛ لذا لو حاول الكائن السباحة من خلال الحركة التبادلية، لن يستطيع الذهاب لأي مكان. فالكائن يتتبع مساره عودة إلى موضع البدء، سواء تم هذا ببطء أم بسرعة.

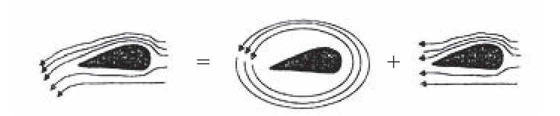
الكائنات الدقيقة التي تسبح بالفعل يكون لها سوط يتحرَّك كالمثقاب، أو يكون به آلية تجديف مرنة قابلة لتغيير الشكل، ولا يمارس أيٌّ من هذين الحركة التبادلية.

*Purcell, E. M. "Life at Low Reynolds Number."* American Journal of Physics *45 (1977): 3–11.*

## (٢٦) الرفع دون مبدأ برنولي*

يمكن تفسير قوة الرفع التي يُحدثها الجناح من خلال تطبيق قانون نيوتن الثاني في تفسير انحراف تيار الهواء لأعلى ولأسفل بواسطة الجناح ككلٍّ. نحن معنِيُّون هنا بالتغيرات في الزخم الخاصة بانحراف تيار الهواء إلى أسفل في مقابل تغيرات الزخم الخاصة بتيار الهواء المنحرف إلى أعلى خلال كل ثانية. تذكَّرْ أن الزخم هو محصِّلة كلٍّ من الكتلة والسرعة، وأن في حالة الجناح يكون لدينا بالأساس تغيرٌ في السرعة. وحين يفوق التغيُّر للأسفل في الزخم في كل ثانية التغير للأعلى، تكون هناك قوة رفع.

يعتمد مقدار قوة الرفع على سرعة الهواء وكثافته، وعلى شكل الجناح، وعلى زاوية مواجَهة الهواء. أغلب أجنحة الطائرات يمكن قلبها رأسًا على عقب، ومع ذلك تظلُّ تُنتج قوة رفع عبر نطاق عريض من الظروف. علاوةً على ذلك، تيار الهواء فوق سطح الجناح وأسفله معقَّد بدرجة كبيرة، في وجود الاضطراب الهوائي وغيره من التأثيرات الأخرى؛ وهي ظروف لا تشجِّع بالتأكيد على حدوث تيار برنولي، الذي يفترض وجود تيار هواء صفائحي. ومن أجل الخروج بتفسير أكثر إرضاءً، يمكن إجمال كل هذه التأثيرات في حزمة واحدة فقط عن طريق تدبُّرْ قانون نيوتن الثاني والتغيرات في زخم تيار الهواء.




ثمة طريقة أخرى لفهم قوة الرفع الديناميكية الهوائية؛ وذلك من منظور معادلة كوتا-يوكوفسكي، التي تربط بين قوة الرفع وتيار الزخم الهابط للأسفل الذي يُنتجه الجناح العامل كجناح حامل، وذلك باستخدام مفهوم الدوران حول الجناح. بالنسبة إلى الدوران $\Gamma$ تكون قوة الرفع $F = pv\Gamma$؛ حيث $p$ كثافة المائع و$v$ سرعة تدفق التيار. ويمكننا أن نبين أن الدوران ثابت في كل المنحنيات المغلقة حول الجناح الحامل، وبعدها يمكننا أن نحسب اختلافات السرعة بين الجانب العلوي والسفلي لشكل الجناح، وفي النهاية يمكننا تطبيق قانون برنولي لتحديد اختلافات الضغط. واختلافات الضغط هذه من شأنها تحريك الهواء فوق الجناح وأدناه، وليس العكس، كما يُذكَر دومًا في المقررات الدراسية!

بكل تأكيد يساعد مفهوم الدوران في فهم معادلة كوتا-يوكوفسكي كما تنطبق على الأجنحة الحاملة، وذلك عن طريق حساب تيار الزخم الهابط لأسفل الذي يُحدِثه الجناح الحامل. ومع ذلك، ليس الدوران هو السبب الفيزيائي لقوة الرفع، ولسنا بحاجة لوضع الدوران في الاعتبار من أجل تفسير منشأ قوة الرفع.

وتلخيصًا نقول: تحدث قوة الرفع إذا — وفقط إذا — مَنَحَ الجناح، بفضل شكله وزاوية مواجهته، تيارَ الهواء زخمًا هابطًا صافيًا.

*Weltier, K. "Bernoulli's Principle and Aerodynamic Lifting Force."* Physics Teacher *28 (1990): 84–86.*

______. *"A Comparison of Explanations of the Aerodynamic Lifting Force."* American Journal of Physics *55 (1987): 50–54.*

## (٢٧) زوبعة في فنجان*

أثار السلوك المُشَوِّق لأوراق الشاي اهتمام العديد من الأشخاص؛ من بينهم ألبرت أينشتاين الذي نشر ورقة بحثية عن هذه الظاهرة عام ١٩٢٦م، يمكنك قراءتها في كتاب إيه بي فرنش: «أينشتاين: كتاب مئوي» (كامبريدج، ماساتشوستس: هارفرد يونيفرستي برِس، ١٩٨٠م).

دون وجود احتكاك على امتداد جوانب الفنجان وقاعه، لا تكون لأي مقدار صغير دوَّار من السائل حركة شعاعية إلى الخارج. يزيد الضغط في السائل إلى الخارج من المحور المركزي، بينما يتسارع المقدار السائل إلى الداخل كي يحافظ على نصف قُطر الدوران الخاص به.

بيد أن هناك بالفعل احتكاكًا بين الطبقة السفلى من السائل وقاع الفنجان. وهذا الاحتكاك يخفِّض سرعة الدوران واختلاف الضغط بين السائل قُرب الجوانب والسائل في المركز. وهذا الانخفاض يكون أقل كثيرًا في الجزء العلوي من السائل. نتيجةً لهذا، يُدفَع السائل لأسفل على امتداد الجوانب، ثم شعاعيًّا إلى الداخل نحو مركز الفنجان، ثم إلى أعلى عند المركز، ثم إلى الخارج قُرب القمة.

تُحمَل أوراق الشاي نحو المركز، لكن القوة الإجمالية الدافعة لأعلى الخاصة بالسائل إضافةً إلى قوة الطفو لا تكفيان لحمل أوراق الشاي لأعلى في مقابل وزنها.

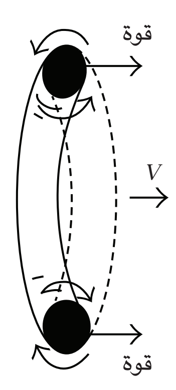
*Davies, P. “Einstein’s Cuppa.”* New Scientist *154 (1992): 52.*
*Smith, J. “Twirling Tea Leaves.”* New Scientist *154 (1992): 53.*
*Walker, J. “Wonders of Physics That Can Be Found in a Cup of Coffee or Tea.”* Scientific American *256 (1977): 152–160.*

## (٢٨) حلقات الدخان ١*

تتضمَّن حركة حلقات الدخان علاقة ارتباط بين القوة والسرعة، وليس بين القوة والعجلة كما الحال في قانون نيوتن الثاني. وهذه العلاقة بين القوة والسرعة يمكن اشتقاقها عن طريق تطبيق قانون نيوتن الثاني، لكن تفاصيل ذلك معقَّدة. لنُلْقِ نظرة بسيطة على السلوك المعنِي هنا. بالنسبة إلى الجانبين المتقابلين لحلقة الدخان، تدور الجسيمات حول نفسها في اتجاهات متعارِضة، كما هو مبين بالشكل. ورغم أن هذين الجانبين المتقابلين يبدوان منفصلين، فإنهما يؤثران أحدهما على الآخر. وتحديدًا، يتسبَّب دوران الدخان في الدوامة العليا في جعل الدخان في الدوامة السفلى يتحرَّك إلى اليمين. وبالطريقة نفسها بالضبط، تتسبَّب الدوامة السفلى في جعل دخان الدوامة العليا يدور إلى اليمين. وهذا التفسير ينطبق على أي مقاطع متقابلة لحلقة الدخان.

## (٢٩) حلقات الدخان ٢

حلقتا الدخان المتحدتا المركز المتحركتان في الاتجاه عينه تجذب إحداهما الأخرى في واقع الأمر، على نحو شبيه بما يحدث مع حلقتَي تيار كهربائي لهما اتجاه التيار ذاته. الدوامات الموجودة حول إحدى حلقتَي الدخان تؤثِّر على الدوامات الموجودة حول الحلقة الأخرى كي تجذب الحلقتين إحداهما نحو الأخرى. ونتيجة لذلك، تتسارع الحلقة المتأخرة، وتتباطأ الحلقة المتقدِّمة. وكل شيء يعمل على نحو أفضل حين تتمتَّع حلقة الدخان المتأخرة بسرعة أكبر بكثير من البداية مقارنةً بالحلقة المتقدِّمة. ومع ذلك، يصعب المرور المتعدِّد للحلقات بعضها من بعض حتى في ظل أفضل الظروف.




متى تتمدَّد حلقة الدخان ومتى تنكمش؟ يبين الشكل أنه لو بُذلت قوة في اتجاه عمودي على سطح الحلقة، يُدفَع المحوران الحلقيان للدوامتين المتقابلتين إلى مناطق يدور فيها المائع، بحيث يُدفَع محورًا الدوامة إلى الخارج بما يزيد من قُطر الحلقة. في الوقت ذاته، تتباطأ الحركة الأمامية لحلقة الدخان. فلماذا؟ إذا كانت القوة المبذولة في الاتجاه المقابل، تنكمش الحلقة، وتتسارع الحركة الأمامية لها. وفي ظل الظروف المثالية، يمكن لحلقتَي دخان قريبتين إحداهما من الأخرى أن تؤثِّر إحداهما في الأخرى؛ كي تمرَّ واحدة من الأخرى!

الفصل الخامس

# الصوت

## (١) المحارة

التجويف الموجود داخل المحارة يعمل عمل المِرْنان (مضخِّم الصوت) لأي أصوات تدخل من الهواء المحيط أو من الأذن أو عن طريق الانتقال بالتلامس عبر عظام الأذن والجلد إلى مادة المحارة. يمكننا أن نشعر بظاهرة رنين التجويف هذه عن طريق طقطقة الإصبع الأوسط مع الإبهام حين تكون اليد مضمومة وحين تكون مفتوحة. الصوت الصادر عند طقطقة الأصابع عندما تكون اليد مضمومة يكون أعلى كثيرًا. وبالمثل، الصوت القادم من اندفاع الدم بجوار الأذن إضافة إلى الأصوات المحيطة الشبيهة بأصوات البحر تنتج تأثيرًا مُشَوِّقًا عندما تُسمَع وهي تنبعث من المحارة.

## (٢) الاستماع إلى صوتك

الاختلاف حقيقي. فصوتك يبدو أرقَّ وأقلَّ قوةً للآخرين عما يبدو لك؛ وهذا لأنك تسمع صوتك من خلال التوصيل العظمي للجمجمة علاوةً على التوصيل الهوائي. ويمكنك التحقُّق بنفسك من هذا الاختلاف بالطريقة التالية: همهِمْ وشفتاك مغلقتان، ثم سُدَّ أذنَيْك بأصابعك، ستبدو وقتها الهمهمةُ أعلى! عند التوصيل الهوائي للصوت، أغلب طاقة الاهتزاز تخرج على صورة تردُّدات تزيد عن ٣٠٠ هرتز، وقليل منها للغاية هو ما يخرج على صورة أصوات منخفضة التردد.

## (٣) دمدمة في الأذن

صوت الدمدمة هذا على تردد يبلغ نحو ٢٣ هرتز ينشأ أساسًا في العضلات الموجودة في ذراعيك ويديك. فشعيرات الأكتين والميوسين الدقيقة الموجودة في العضلات تواصل الانبساط والارتخاء قليلًا. وكل حركة صغيرة تتضمَّن قدرًا من الاحتكاك بين كل عضلة وأخرى، وهو ما ينتج أصواتًا تنتقل على امتداد عظام الساعد وصولًا إلى رأسك. ويمكنك التحقُّق من مصدر هذه الأصوات بأن تستمع أولًا وذراعاك مرتخيتان نوعًا ما كي ترسي مستوى شدة الصوت الأساسية، ثم بعد ذلك تشد قبضتك وعضلات ساعديك للاستماع إلى شدة الصوت وهي تزداد أضعافًا مضاعفة.

إذا قامت غوريلا بالتجربة عينها، واستمعت إلى عضلاتها، فمن الممكن أن تكون شدة صوت الدمدمة أعلى قليلًا؛ لأن عضلات الأصابع الموجودة في يد الغوريلا ضخمة إلى حدٍّ ما مقارنةً بالإنسان الذي توجد أغلب العضلات المحرِّكة للأصابع لديه في الساعد، وتمتد منها أوتار طويلة للغاية وصولًا إلى اليدين.

*Oster, G. "Muscle Sounds."* Scientific American *255 (1984): 108.*

*Oster, G., and J. S. Jaffe. "Low-Frequency Sounds from Sustained Contraction of Human Skeletal Muscle."* Biophysical Journal *30 (1980): 119.*

## (٤) الصوت في أنبوب

كلما قابلتْ موجة الصوت (أو أي موجة في واقع الأمر) تغيرًا في المقاومة لحركتها فإن جزءًا منها ينعكس، وجزءًا ينتقل، وجزءًا يُمتَص. وتنعكس موجة الصوت عن جدار مصمَت؛ لأن الزيادة المفاجئة في الشدة تُنتِج تغيُّرًا في المقاومة. تسبِّب المواد المختلفة تغيرات طورية مختلفة للموجة المنعكسة مقارنةً بالموجة الأصلية.

إن موجة الصوت التي تتحرَّك داخل الأنبوب وتواجِه طرفه المفتوح ستنعكس جزئيًّا. ستمتد منطقة ضغط عند الطرف المفتوح إلى الخارج، وبهذا تُحدِث نقصًا في الضغط؛ أي خلخلة. يُدفَع الهواء المحيط إلى هذه المنطقة كي يبني منطقة ضغط تتحرَّك عائدةً نحو داخل الأنبوب. ويمكننا أن نتخيَّل تأثيرًا معاكسًا حين تصل الخلخلة إلى طرف الأنبوب.

فعليًّا، يكون الطول الديناميكي $L'$ للأنبوب أطول بنحو ثلث قُطر الطرف المفتوح $D$ لكل طرف مفتوح، وذلك إذا أردنا أن نستخدم المعادلة البسيطة التي تربط الطول الموجي الرنان $\lambda$ بالطول المادي للأنبوب $L$. هذا يعني أنه بدلًا من المعادلة $2L = n\lambda$، علينا استخدام المعادلة $2L' = n\lambda$؛ حيث $L' = L + 2D/3$، وستكون لنغمات الرنين حدة صوت أقل قليلًا مما هو متوقع من المعادلة الأولى.

*Troke, R. W. "Tube-Cavity Resonance."* Journal of the Acoustical Society of America *44 (1968): 684.*

## (٥) ليالي الصيف

ينتقل الصوت في الهواء الجاف الدافئ بسرعة أكبر مما في الهواء الجاف البارد؛ ففي الهواء الدافئ، يكون متوسِّط السرعات الجزيئية أكبر؛ ومن ثم تصل الجزيئات إلى الجزيئات المجاورة لها على نحوٍ أسرع، وهو ما يمكِّن ضغطَ الصوت من الحركة بسرعة أكبر. في فصل الصيف، حين تكون درجة حرارة الهواء أدفأ من درجة حرارة الماء، يحدث انقلاب في درجات الحرارة؛ إذ تكون درجة حرارة الهواء لعدة أمتار فوق الماء أقل من درجة حرارة الهواء فوق تلك الطبقة. وسيعمل انقلاب درجة الحرارة على عكس الطاقة الصوتية المتحرِّكة لأعلى، بحيث تعود ثانيةً إلى الماء، ثم سيعكس السطح الهادئ للماء موجة الصوت لأعلى ثانية، ثم سيعكس انقلاب درجة الحرارة موجة الصوت لأسفل، وهكذا دواليك. ومن ثم، سينتقل أغلب الصوت داخل طبقة رقيقة من الهواء إلى مسافة بعيدة عبر سطح الماء. وتعتمد شدة الصوت المسموع على مسافة بعيدة على عدة عوامل، على غرار تردُّد الصوت والشدة الأصلية ومعامل الانعكاس الفعلي لانقلاب درجة الحرارة. ومن السهل تخيُّل تغيرات الاتجاه الخاصة بمقدمات الموجات.

## (٦) طلقات المدفع

للظاهرة الصوتية التي حدثت بالقرب من لندن عدة تفسيرات محتملة. قد يكون أبسط هذه التفسيرات أن الرياح في طبقة الغلاف الجوي العليا قد تهبُّ في اتجاه معاكس للرياح الموجودة في طبقة الغلاف الجوي السفلى. فالرياح الغربية بالطبقة السفلى والشرقية بالطبقة العليا ستمنع الأصوات الأقرب للأرض من الوصول للمناطق غربي مصدر

الصوت. بعد ذلك حين يصل الصوت للرياح في الطبقة العليا، يمكنه أن يصل إلى المناطق البعيدة غربًا عن طريق الانعكاس للأسفل بعيدًا عن المصدر. ومع ذلك، هذه العملية لا يمكنها أن تفسِّر حلقة الصوت المسموعة في جميع الاتجاهات.

أما حين تحيط منطقة الصمت تمامًا بالمصدر على نصف قُطر ما، لكن يكون الصوت مسموعًا على مسافات أبعد في جميع الاتجاهات، فهنا نكون في حاجة لتفسير مختلف. في هذه الحالة التي شهدناها في لندن، لنا أن نخمِّن وجود انقلاب في درجة الحرارة في الجزء العلوي من الغلاف الجوي. إن إطلاق المدافع يُرسل مقدِّمة موجة ذات شكل نصف كروي تتمدَّد مع ارتفاعها فوق الأرض. وإذا كانت درجة حرارة الهواء تقلُّ مع الارتفاع، وهو الحال عادةً، تنحني الموجة بعيدًا عن الأرض. وعادةً ما يحيد قدرٌ كافٍ من الصوت ويعود إلى السطح، خاصة على الترددات المنخفضة، بحيث يمكن سماع دوي إطلاق المدافع بسهولة على مساحة كبيرة حول المصدر. لكن مع تحرُّك الموجات للأعلى، يكون للصوت المحيد فرصة أقل في الوصول إلى الأرض؛ لأن المسافة تزداد، وفيما وراء نصف قطر معين حول المصدر ستكون هناك منطقة من الصمت.

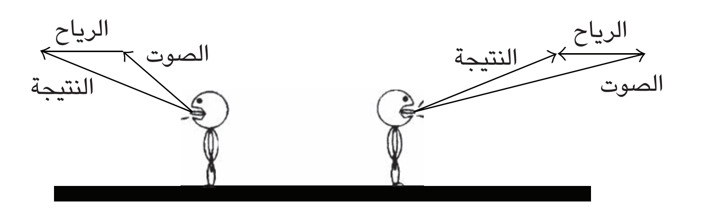
حين تصل موجة الصوت هذه إلى ارتفاع ١٠ إلى ١٥ كيلومترًا تتوقَّف درجة حرارة الهواء عن الانخفاض، وتبدأ في الارتفاع ببطء مع العلو حتى تصل إلى حدِّها الأقصى على ارتفاع نحو ٥٠ كيلومترًا. تزداد درجة الحرارة في هذه المنطقة لأنها تسخُن بفعل الأشعة فوق البنفسجية الآتية من الشمس. يتم امتصاص أغلب الأشعة فوق البنفسجية في طبقة الأوزون، التي تحمي جلودنا من الاحتراق (بعض الأشعة فوق البنفسجية ينفذ من طبقة الأوزون، ولولا هذا لما استطعنا اكتساب سُمرة الشمس).

عندما تقابل موجة الصوت الهواء الأدفأ فإنها تنحني مبتعدةً عنه وتعود ثانية إلى الأرض. ولا يتبقَّى سوى مقدار صغير من الطاقة الصوتية بعد رحلة العودة الطويلة هذه إلى الأرض بسبب التشتُّت الهندسي لهذه الطاقة نحو الفضاء وامتصاصها بواسطة الهواء. ويمكن سماع الأصوات الناتجة عن الانفجارات الكبيرة وطلقات المدفعية لو كانت الظروف الجوية مواتية.

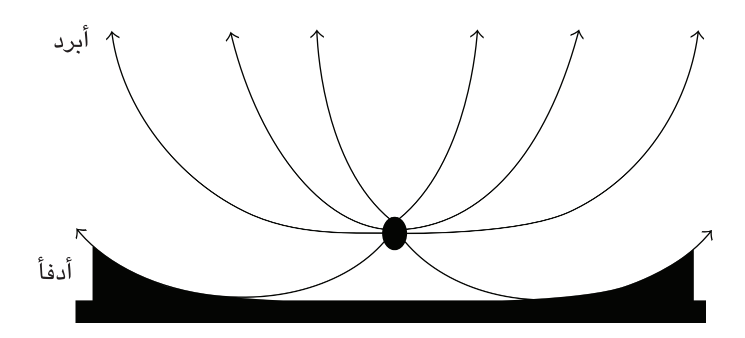
## (٧) التحدُّث عكس اتجاه الرياح

لا تستطيع الرياح أن تعصف بالصوت، ما لم تكن سرعة الرياح مماثلة لسرعة الصوت! ما يحدث في الواقع هو أن الرياح ترفع الصوت للأعلى فوق الجانب المعاكس للرياح، وهو

ما يتسبَّب في عبور معظم الطاقة الصوتية من فوق رأسك. في الشكل الأول تُجمَع سرعتا الصوت والرياح متجهيًّا (طول متجه سرعة الرياح مبالغ فيه).

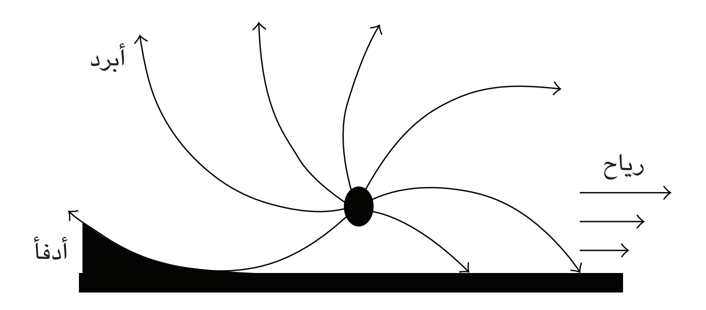



في أغلب الأيام تقل درجة حرارة الهواء مع الارتفاع عن سطح الأرض؛ لأن الهواء يسخن بالأساس بواسطة الأرض، وليس على نحو مباشر بواسطة الشمس. تنحرف موجات الصوت بعيدًا عن الهواء الأدفأ؛ وبذا فإن نمط الأشعة الصوتية المنطلقة من مصدر ثابت موجود في نقطة فوق سطح الأرض يبدو كما هو مبين في الشكل الثاني، وذلك بافتراض عدم وجود رياح. المناطق الداكنة على كلا جانبَي المصدر تمثِّل مناطق الظلال الصوتية التي لا يُسمع فيها إلا قدر يسير للغاية من الصوت.




حين تكون هناك رياح، فإن سرعة هذه الرياح تزداد مع الارتفاع. ويمكنك جمع سرعة الصوت وسرعة الرياح متجهيًّا، واضعًا في الاعتبار الزيادة في سرعة الرياح؛ كي تحصل على النتيجة المبيَّنة في الشكل الثالث. هناك ظلٌّ صوتي على الجانب المعاكس للرياح، لكن بعض الصوت يحيد نحو منطقة الظل، خصوصًا عند الترددات المنخفضة. أما الأصوات ذات الترددات العالية، بما في ذلك أصوات الكلام، فلا توجد بالمرة في منطقة

الظل. ودون الترددات العالية المرتبطة بالأساس بالحروف الساكنة، قد يكون الكلام غير واضح. وبهذا تتسبَّب الرياح في تأثيرين: زيادة شدة الصوت، والتخلص من الترددات العالية.




## (٨) صفافير الضباب

الأصوات منخفضة الحدة يمكن سماعها على مسافات أبعد مقارنةً بالأصوات ذات الحدة العالية. بينما تنتقل موجات الصوت، تتحول بعض الطاقة إلى طاقة حرارية، ويكون معدل التحول أسرع في حالة الترددات العالية. السفن في البحر تحتاج إلى مساحة كبيرة من أجل تغيير مسارها لتفادي الخطر، ولهذا السبب دائمًا ما تعمل صفافير الضباب على حدة صوتية منخفضة حتى يتم التأكد من سماعها على مسافة أميال عدة داخل البحر.

## (٩) السمع من علٍ

في الظروف الجوية العادية، تقل درجة الحرارة مع الارتفاع عن سطح الأرض. ولهذا السبب تقل سرعة الصوت في الهواء مع الارتفاع. وموجات الصوت المُنتَجة قرب سطح الأرض تنتشر من المصدر إلى الخارج في جميع الاتجاهات، وفي نهاية المطاف تنحرف موجات الصوت بسبب الهواء الأدفأ وتتحرك لأعلى صوب راكبِي المناطيد أو متسلقِي الجبال.

أما موجات الصوت المنتَجة في العلو بواسطة متسلقي الجبال أو راكبي المناطيد، فتبدأ بالانتشار في جميع الاتجاهات من المصدر، وهي أيضًا تنحرف بعيدًا عن الأرض، وعادةً تفشل تمامًا في الوصول إلى سطح الأرض.

ثمة تأثيران آخران ثانويان: (١) يُنتج متسلقو الجبال أو راكبو المناطيد الأصواتَ في هواء ذي كثافة أقل قليلًا مقارنةً بكثافة الهواء على الأرض؛ لذا تكون طاقة موجات الصوت أقل من طاقة موجات الصوت التي ينتجها الأشخاص الموجودون على سطح الأرض. (٢) أيضًا يكون راكبو المناطيد في منطقة هادئة، بينما الأشخاص الموجودون على الأرض يكونون مغمورين في فيض من الأصوات، وهو ما يصعِّب من عملية تمييز صوت راكبي المناطيد في هذه الضوضاء.

## (١٠) الصوت التصاعدي للشوكة الرنانة

الطرفان يُنتِجان موجتين صوتيتين بطورين متعاكسين. فعليًّا تُلغي الموجتان إحداهما الأخرى عندما تهتز الشوكة في مستوًى عمودي على مستوى الأذن. وعند إدارة الشوكة ربع دورة، يهتز الطرفان في مستوًى موازٍ لمستوى الأذن، وتعزِّز موجتا الصوت إحداهما الأخرى بحيث تنتجان صوتًا أعلى. وتتسبَّب إدارة الشوكة برفق في تغيير مستوى الشدة من الصوت المرتفع إلى الخافت.

*Crawford, F. S.* Waves: Berkeley Physics Course. Vol. 3. *New York: McGraw-Hill, 1968, p. 532.*

*Zarumba, N.; R. Hetzel; and E. Springer.* Physics Teacher *21 (1983): 548.*

## (١١) انتباه!

الجواب هو: لا. فجزء من الصوت المنبعث من المتحدِّث ينعكس من على الجدران والسقف، أما الباقي فيتم امتصاصه. تميل أصوات النساء إلى أن تكون ذات نغمات عالية الحدة، وهذه الأصوات يتم امتصاصها بدرجة أكبر مقارنةً بالأصوات ذات النغمات المنخفضة الحدة. وبناءً عليه، تنعكس نغمات الصوت الجهير الصادح للذكور لعدد أكبر من المرات، وبهذا يحتاج المتحدِّث الذكر إلى بذل طاقة أقل كي يصل بصوته إلى كل جنبات القاعة.

ومع ذلك، عليه أن يتحدَّث ببطء أكبر؛ كي يتجنب أن تبدأ كلمته التالية بالتزامن مع نهاية الكلمة السابقة، التي لا تزال تتردد في جنبات القاعة.

## (١٢) مطَّاط ورصاص

تعتمد سرعة الصوت داخل أي مادة على كلٍّ من كثافة المادة ومرونتها؛ بحيث إن سرعة الصوت تساوي الجَذْر التربيعي لحاصل قسمة المرونة على الكثافة. للرصاص قيمة مرونة منخفضة للغاية؛ إذ إنه يفتقر للمرونة تمامًا. يمكن لتبريد الرصاص أن يزيد من مرونته على نحو بالغ. المطاط استثناء آخر بسبب إسفنجيته الشديدة وبنيته الكيميائية المتفردة، وكلتا الخاصيتين تسمحان بامتصاص الطاقة الصوتية على الفور.

بما أن كلتا المادتين تتسمان بسرعتَي انتقالِ صوت منخفضتين، وتعجزان عن توصيل الطاقة الصوتية بكفاءة، تُوضع طبقات من المطاط والرصاص بالتبادل لعزل المعدات عن الاهتزازات الأرضية في العديد من المختبرات البحثية.

## (١٣) التحدُّث بعد استنشاق الهليوم

ليس لترددات الطيات الصوتية الموجودة في القصبة الهوائية للإنسان علاقة بالغاز المحيط بها، وإنما تتحدَّد بواسطة كتلة الأحبال ومقدار شدِّها أو ارتخائها. ورغم أن طيفها الترددي يظل كما هو في حالة استنشاق الهليوم، فإن تجويف الكلام/الفم المرتبط بها يعزِّز الترددات التوافقية على نحو انتقائي من خلال الرنين وتغيير مستويات الشدة دون تغيير الترددات نفسها. وتكون النتيجة مشابِهة لما يحدث عند تعلية الصوت عالي الطبقة لجهاز الاستيريو.

ذرة الهليوم أخف من أي جزيء في الهواء عدا جزيئات الهيدروجين الشحيحة، وسرعة الصوت في غاز الهليوم أكبر من سرعته في الهواء. وبالنسبة إلى موجة الصوت، فإن التردد يساوي السرعة مقسومة على الطول الموجي. ومن ثم، يكون تردد الموجات ذات الطول الموجي نفسه أعلى في الهليوم منه في الهواء.

*Tibbs, K. W., et al. "Helium High Pitch."* Physics Teacher *27 (1989): 230.*

*Van Wyk, S. "Acoustics Problems."* Physics Teacher *25 (1987): 521–522.*

## (١٤) قاعتان موسيقيتان

التصميم الأول، ذو السقف العاكس المقوس، أفضل من الناحية الصوتية. إذا سمع المتلقي أول صوت منعكس في غضون فترة تقل عن ٥٠ ملِّي ثانية بعد الصوت المباشر، سيعزِّز الصوت المنعكس من الصوت المباشر، وسيكون التأثير محببًا. أما إذا كان الفاصل الزمني ٥٠ ملِّي ثانية أو أكثر، فسيسمع المتلقي الصوت المنعكس بوصفه صدًى، وهو ما يتداخل مع الصوت المباشر. الانعكاسات المتعددة أقل أهميةً بسبب ما يحدث من امتصاص للطاقة الصوتية.

*Blum, H.* American Journal of Physics 42 *(1974): 413.*

*Rossing, T. D. "Acoustic Demonstrations in Lecture Halls: A Note of Caution."* American Journal of Physics *44 (1976): 1220.*

## (١٥) زئير الفأر

رغم أن الفأر قد يكون قادرًا على توليد أصوات منخفضة الحدة في تجويف الفم الخاص به، فإن شدة هذه الأصوات تكون محدودة للغاية بسبب عاملَيْن: المقدار الصغير من الهواء الذي يتحرَّك داخلًا إلى الفم، وعدم التناسب الكبير في الحجم بين الطول الموجي للصوت وأكبر الأبعاد الخطية للتجويف الفَمَوِي للفأر. أيضًا تأثيرات رنين التجويف لن تكون موجودة تقريبًا، ولن يمكنها مساعدة فأرنا الصغير. تعتمد شدة الصوت، في حالة تَساوي كل العوامل الأخرى، على مربع التردُّد؛ لذا على المرء تحريك مقدارٍ أكبر بكثير من الهواء على الترددات المنخفضة كي يباري مستويات الشدة على الترددات الأعلى. ولا يستطيع الفأر تحريك مقدار كبير من الهواء!

يستطيع الفيل أن يُطلِق أصواتًا عالية التردد بواسطة عدد من الآليات؛ منها أن يتم ذلك من خلال إسهامات الرنين صغيرة الحجم الآتية من تجويف الفم أو الأنف، وأيضًا من خلال القدرة على استغلال السلوك الاهتزازي غير الخطِّي، الذي يتسبَّب في إحداث نغمات صوتية ثانوية ذات تردد أعلى.

*Bartlett, A. A. "The Mouse That Roared?"* Physics Teacher *15 (1977): 319.*

## (١٦) نغمات صوتية جهيرة

يتكوَّن الحديث البشري من كلٍّ من النغمات الأساسية الأدنى، والترددات التوافقية الخاصة بها؛ وهي عبارة عن مضاعفات صحيحة لهذه الترددات الأساسية. ومنظومة المخ/الأذن البشرية لا تستشعر فقط الترددات الموجودة في الموجات الصوتية، ولكنها أيضًا تنتج ترددات جديدة، تكون عبارة عن مجموع هذه الموجات الموجودة من الأصل والفوارق بينها. وهذه القدرة موجودة في معظم الأنظمة التي تُخرِج استجابات غير خطية للإشارات الداخلة. والنغمات الصوتية الجهيرة المسموعة في الصوت القادم من سماعة الهاتف تنشأ عن ترددات الفارق.

*Rossing, T. D. "Physics and Psychophysics of High-Fidelity Sound."* Physics Teacher *17 (1979): 563-570.*

*Stickney, S. E., and T. J. Englert.* Physics Teacher *13 (1975): 518.*

## (١٧) الطبقة الصوتية الافتراضية

عند غناء نغمتين صوتيتين معًا، عادةً ما يتم سماع نغمة ثالثة أدنى. وهذه النغمة الخفيضة يُطلَق عليها اسم الطنين الفرقي أو نغمة تارتيني، على اسم عازف الكمان الإيطالي الذي وصفها عام ١٧١٤م. وإذا كانت النغمتان الأصليتان لهما الترددان $f_1$ و$f_2$ فسيكون هذا الطنين الفرقي عند المستوى $(f_2 - f_1)$. يمكن للمرء أيضًا أن يسمع الطنين الفرقي المجسم عند المستوى $2f_2 - f_1$، ومن الممكن عند مستويات أخرى بصعوبة. وهذا الطنين الفرقي يعتمد على الاستجابة غير الخطية لمنظومة المخ/الأذن البشرية؛ حيث تُلحق فترة استجابة تربيعية بفترة الاستجابة الخطية. يغنِّي رهبان التبت أحيانًا موسيقى كورالية تحتوي على أصوات عند الترددات ٦٠٠ هرتز و٨٠٠ هرتز و١٠٠٠ هرتز و١٢٠٠ هرتز، على سبيل المثال، ويكون بمقدور المرء أن يسمع العديد من نغمات الطنين الفرقي.

*Hall, D. E. "The Difference between Difference Tones and Rapid Beats."* American Journal of Physics *49 (1981): 632-636.*

## (١٨) الغناء في الحمام

الغناء الجيد يتطلَّب رنينًا. ينشأ الصوت في الأساس عند مرور الهواء المدفوع من الرئة عبر الطيَّات الصوتية (وهي أغشية يُطلَق عليها خطأً اسم الأحبال الصوتية) الموجودة في القصبة الهوائية البشرية على صورة سلسلة من النبضات الهوائية على تردُّد يتحدَّد بواسطة مقدار شد الطيات الصوتية. والصوت عبارة عن سلسلة توافقية من الموجات الصوتية تضم التردد الأساسي والترددات التوافقية الأعلى، بحيث يكون التردد الأساسي هو الأقوى. وبينما تَعبُر الموجات الصوتية عبر المجرى الصوتي الذي يتكوَّن من الحنجرة والبلعوم والفم، تكون الترددات القريبة من ترددات الرنين الخاصة بالمجرى الصوتي أعلى مما سواها. ويستطيع المغنِّي الجيد تحقيق هذا التوافق بعدد من الطرق، منها ضبط مستوى شد الطيات الصوتية وتنويع شكل المجرى الصوتي، وبهذا يستفيد من التضخيم الناشئ عن الرنين. ودون مساعدة الرنين، سيكون على المرء أن يصرخ عاليًا حتى يسمعه الجمهور عند تلك الترددات!

تتمثَّل ميزة الغناء في الحمَّام في أن المغنِّي غير الماهر يحصل في هذا الموقف على مساعدة من الرنين المتولِّد بين أسطح الحمَّام المغلق. في الحمام المغلق هناك ثلاثة اتجاهات أساسية للرنين: (١) بين الأرضية والسقف. (٢) بين الجدار الأمامي والخلفي. (٣) بين الجدارين الجانبيين (مع معاملة باب الحمام أو الستار على أنه جدار). من الممكن بناء موجة راكدة من الرنين الصوتي بين أي زوجين من الجدران، بحيث تكون بطون الموجة (المواضع التي تكون فيها سعة الاهتزاز في أقصاها) عند الجدارين وتوجد عقدةٌ (الموضع الذي تكون فيه سعة الاهتزاز منعدمة) في مركز التردد الأساسي في هذا الاتجاه. والتردد التوافقي الثاني عند «ضعفَي» التردد الأساسي يكون له ثلاثة بطون وعقدتان. ومن خلال العلاقة «التردد يساوي السرعة مقسومة على الطول الموجي» يمكننا التنبؤ ببعض ترددات الرنين، علمًا بأن الطول الموجي للتردد الأساسي سيكون حوالي ضعفَي المسافة بين السطحين العاكسين. فإذا كانت المسافة بين الأرضية والسقف مترين مثلًا، يكون الطول الموجي للتردد الأساسي أربعة أمتار، بتردد يبلغ ٨٦٫٥ هرتز، على اعتبار أن سرعة الصوت تبلغ ٣٤٦ مترًا في الثانية.

ومن أجل استثارة التردد الأساسي، على المرء ألا يقف في الموضع الذي تكون العقدة فيه؛ أي قرب المركز. وإنما على المرء أن يقف قرب أحد الجدارين؛ أي قُرب البطن. التردد التوافقي الثاني وكل الترددات التوافقية الزوجية الأخرى يمكن استثارتها من المنطقة

المركزية. تعتمد جودة الصوت على عدة عوامل؛ منها موضع الأذنين والفم (مصدر الصوت)، والتشوُّهات التي تصيب الصوت بواسطة الرأس والجسم. يحتاج الشخص الذي يغنِّي في الحمَّام إلى أن يتحرك في أرجاء المكان إلى أن يحصل على التأثير المحبَّب المنشود. وفي المعتاد تخرج الترددات التوافقية الثالثة والرابعة والسابعة والثامنة على أفضل صورة لها من الشخص الذي يغنِّي في الحمام. وبطبيعة الحال، يجب تدبُّر الاتجاهات الثلاثة كلها في الوقت عينه؛ لأن الترددات التوافقية الأعلى قد تنعكس في أحد الاتجاهات الأخرى. فلْتنعَمْ بغناء طيب!

*Edge, R. D. "Physics in the Bathtub—or, Why Does a Bass Sound Better while Bathing?"* Physics Teacher *23 (1985): 440.*

*Walker, J. "What Makes You Sound So Good when You Sing in the Shower?"* Scientific American *253 (1982): 170–177.*

## (١٩) حَكُّ قطعة من الخشب

يكون الصوت خفيضًا للغاية حين تسمعه في الهواء؛ لأن الطاقة الصوتية تنتشر في كل الاتجاهات وتُملي العوامل الهندسية أن يصل جزء بسيط للغاية من الصوت إلى أذنيك. حين تضع أذنك على قطعة الخشب مباشرةً ستسمع صوتًا عاليًا؛ لأن الحكَّ يُنتِج صوتًا في الخشب مثلما ينتج صوتًا في الهواء المحيط. أغلب الطاقة الصوتية في الخشب تظل داخله؛ لأن هناك مقاومة كبيرة ناتجة عن عدم التوافق عند السطح الواصل بين الخشب والهواء تعكس أغلب الطاقة الصوتية وتسمح بانتقال مقدار يسير للغاية من الصوت إلى الهواء. وبهذا تتلقَّى أذنك الطاقة الصوتية من الخشب إذا كان التوصيل جيدًا.

## (٢٠) هاتف الخيط والكوبين البسيط

الخط (ب)، الذي يكون وضع الكوب فيه معاكسًا للوضع التقليدي، يُنتِج صوتًا أعلى. هذا الاتجاه يضع السطح المهتز؛ أي قاع الكوب، أقرب إلى الأذن، وهو ما ينتج صوتًا أعلى. جرِّب الأمر. الآن قد تتساءل إن كان ينبغي عكس الكوب المرسِل هو الآخر!

*Heller, P. "Drinking-Cup Loudspeaker—A Surprise Demo."* Physics Teacher *35 (1997): 334.*

## (٢١) طائرة أسرع من الصوت

عندما تطير الطائرة بسرعة تقلُّ عن سرعة الصوت، تسبق موجات الصوت الصادرة عنها الطائرة نفسها، وهو ما يجعل جزيئات الهواء أمام الطائرة تستطيل في كرات غير متحدة المركز تكون أكثر تقاربًا في الاتجاه الأمامي عنه في الاتجاه الخلفي.

وحين تطير الطائرة بسرعة تفوق سرعة الصوت، لا تتلقَّى جزيئات الهواء أي تحذير سابق. في الواقع، تُخلَق الموجات الصدمية في كثير من الحواف الأمامية لجناحَي الطائرة، وتميل كلها إلى التجمُّع في مصدرين موضعيين ظاهرين، أحدهما عند مقدِّمة الطائرة والثاني عند الذيل. وبالتبعية، تمر الطائرة التي تطير بسرعة تفوق سرعة الصوت بقدر أكبر من الاضطراب الهوائي، وقوى مقاومة أكبر، وسخونة أكبر على امتداد الحواف الأمامية. تقلِّل تصميمات معينة لشكل الأجنحة من الاهتزازات، وتُستخدَم معادن خاصة ومواد غير معتادة في تصنيع الأجنحة تكون قادرة على تحمُّل درجات الحرارة العالية بشكل أفضل.

بينما تنتقل الموجتان الصدميتان للأسفل صوب المستمع الموجود على الأرض، ترفع الموجة الأولى — الصادرة عن مقدِّمة الطائرة — ضغط الهواء بشكلٍ حادٍّ. بعدها ينخفض ضغط الهواء إلى ما دون الضغط الجوي مع حلول الصدمة الآتية من الذيل، ثم بعدها يرتفع بحدة ثانية. ولهذا نسمع ذلك الصوت الهادر مرتين عند كل ارتفاع حادٍّ في الضغط.

*Hodges, L. "What Are the Effects of a Sonic Boom?"* Physics Teacher *23 (1985): 169.*

## (٢٢) لعبة سلينكي الزُّنْبُركية

سيصدُر عن المخرج الموجود عند الجدار صوتٌ أشبه بالصفير؛ صوت يصير مسموعًا في البداية على صورة طبقة صوتية عالية للغاية، ثم يهبط سريعًا في الطبقة؛ ليصير غير مسموع في خلال كسر من الثانية. حين يكون الزُّنْبُرك تحت مقدار قليل للغاية من الشد، سيسلك سلوك القضيب الطويل المتيبس، وستتناسب سرعة موجات الصوت طرديًّا مع الجذر التربيعي للتردد. وبهذا، تنتقل موجات الصوت ذات التردد الأعلى أسرع من الموجات ذات التردد المنخفض.

*Crawford, F. S. “Slinky Whistlers.”* American Journal of Physics *55 (1987): 130.*

## (٢٣) كئوس النبيذ الموسيقية ١

يختلف الصوت بدرجة طفيفة. فحكُّ حافة الكأس يستثير في الأساس أخفض «درجات الرنين»، الدرجة ٢,٠، التي بها ذروتان عقديتان. والطَّرْقُ على حافة الكأس يستثير المزيد من «درجات الرنين» هذه، بما فيها الدرجة ٢,٠ و٣,٠.

*Rossing, T. D. “Wine Glasses, Bell Modes, and Lord Rayleigh.”* Physics Teacher *28 (1990): 582.*

## (٢٤) كئوس النبيذ الموسيقية ٢

جرِّب الأمر! ينخفض تردُّد الصوت حتى بالرغم من أن عمود الهواء يصير أقصر. يجب على اهتزازات جدار الكأس أن تحرِّك قدرًا أكبر من الكتلة، بما في ذلك نفسها والماء المضاف، وهو ما يزيد من القصور.

*Rossing, T. D. “Wine Glasses, Bell Modes, and Lord Rayleigh.”* Physics Teacher *28 (1990): 582.*

## (٢٥) أساسيات رن الجرس

على العكس من أغلب الآلات الموسيقية الوترية وآلات النفخ، للأجراس نغمات ثانوية ليست ذات تردُّدات توافقية؛ بمعنى أنها ليست مضاعفات صحيحة للتردد الأساسي. وهذه النغمات التوافقية تُنتج إيقاعات غير محبَّبة، سواء بين نفسها أو مع أحد الترددات الأساسية.

## (٢٦) صدى الغابة

كي يرتفع الصدى بمقدار أوكتاف، يجب أن يكون الطول الموجي للصوت الأصلي أكبر من المسافات بين الأشجار، التي تمثِّل مراكزَ للتشتُّت. تحت هذا الشرط، سيحدث تشتُّت

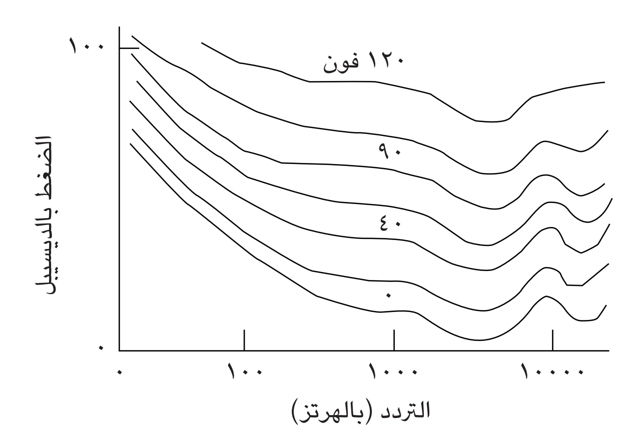
رايلي (أي تشتُّت متماسك) لموجات الصوت، وتتناسب شدة التشتت طرديًّا مع القوة «الرابعة» للتردد. وبهذا فإن التردد التوافقي على ضعفَي التردد الأصلي سيُعاد أقوى بِستَّ عشرةَ مرة من شدته الأصلية، وقد يهيمن على الصوت العائد!

*Rayleigh, Lord.* Nature *8 (1873): 319.*

*Rinard, P. M. "Rayleigh, Echoes, Chirps, and Culverts."* American Journal of Physics *40, 923 (1972): 923.*

## (٢٧) تعلية النغمة الخفيضة

تتفاوت حساسية الأذن البشرية مع تباين تردُّد الصوت ومدى جودته. وقد حدَّد فليتشر ومونسون منحنيات العلو المتساوي منذ سنوات عديدة، وتُبَيِّن قياساتهما الحساسية النسبية للأذن البشرية للأصوات ذات التردد المنخفض عند مستويات شدة معتدلة أو منخفضة. تصل حساسية السمع ذروتها بين ٣ آلاف و٥ آلاف هرتز، وهو تردُّد مقارِب لتردد الرنين الخاص بقناة الأذن الخارجية. لذا عند خفض مستوى الصوت في جهاز الاستيريو، لا بد من تعلية النغمة الخفيضة.




*Fletcher, H., and W. A. Munson. "Loudness, Definition, Measurement, and Calculation."* Journal of the Acoustical Society of America *6 (1933): 59.*

*Rossing, T. D. "Physics and Psychophysics of High-Fidelity Sound."* Physics Teacher *17 (1979): 563-570.*

## (٢٨) جاذب الانتباه الشخصي

يمكن استخدام مصفوفة من مكبرات صوت صغيرة عديدة، كلها موضوعة داخل نصف قطر مقداره متر واحد أو أقل، إذا استُخدم ناقل سمعي عالي التردد في نقل الرسالة الصوتية المنخفضة التردد. يمكن تصميم المصفوفة كي تستفيد من مزية العلاقات الطورية للمكبرات المتعدِّدة كي ترسل حزمة مركَّزة إلى المتلقي المرغوب وسط الزحام. وسيكون قُطْر التركيز الأدنى عند المتلقي هو الطول الموجي للناقل، كما تُمليه ديناميكيات الموجات.

## (٢٩) السُّلَّم الموسيقي

يميل العقل البشري إلى عمل صلات بين العناصر القريبة بعضها من بعض بدلًا من العناصر البعيدة بعضها عن بعض. على سبيل المثال، تساعدنا الرؤية البشرية على جمع النقاط القريبة بعضها من بعض، على غرار الصورة التي نراها على شاشة التليفزيون. أيضًا تنبهنا الرؤية إلى أن نكون أشد حساسية تجاه الأضواء المجاوِرة التي تُضيء وتنطفئ مقارنةً بالصور الموجودة على مسافة بعيدة. وبالمثل، يعمل الإدراك الصوتي البشري بطريقة تجعلنا نفضِّل أن ندرك نغمات السلم الموسيقي القريبة بعضها من بعض على أن ندرك النغمات البعيدة بعضها عن بعض. وقد أشارت البحوث التي أُجريت على السمع إلى أن النغمات الاثنتي عشرة للأوكتاف الواحد عادةً ما تُدرَك على أنها موجودة داخل دائرة يُطلَق عليها دائرة طبقة الصوت. ومن بين الأمثلة التي جرت دراستها، وُجِد أن عزف مجموعتين من ثلاث نغمات من دائرة طبقة الصوت الخاصة بالأوكتاف بالتتابع ستُسمَع على نحو مختلف من جانب المستمعين المختلفين. فإذا بدأت بعزف النغمة D وB بالتزامن، متبوعتين بالنغمة E وA معًا، ثم F وG معًا، فسيسمع بعض المستمعين التتابع BAG على طبقة صوتية أعلى من التتابع DEF بينما سيسمع آخرون التتابع BAG على طبقة أدنى من التتابع DEF.

لكن ما يسمعه الفرد يعتمد أيضًا على اللغة أو اللهجة التي يتحدَّث بها هذا الشخص. لمعرفة أحدث تفاصيل هذه الدراسة المتواصلة، يمكنك البدء بالمرجع الذي نورده هنا.

*Deutsch, D. "Paradoxes of Musical Pitch."* Scientific American *263 (1992): 88–95.*

## (٣٠) أين تذهب الطاقة؟

حين تتبدَّد موجتان صوتيتان طُوليتان بفعل التداخل الهدَّام في منطقة ما، يمكننا إضافة السَّعتين الموجيتين القُصْويين إحداهما إلى الأخرى للحصول على سعة مقدارها صفر. لكن الطاقة المحمولة بواسطة الموجة الصوتية، التي هي نتاج شِدَّتَي المجالين والمعاوقة الموجية، يستحيل تحديدها عن طريق الإضافة.

وإذا استخدمنا مكبِّرين صوتيين قريبين أحدهما من الآخر، يمكن جعلهما مختلفين في الطور، بحيث يتسبَّبان في إلغاء شبه كامل لإشعاعهما الصوتي. لا تزال الطاقة الكهربية تسري في كلا المكبِّرين، وكل ما نحتاج لفعله للتأكد هو قياس التيارات المشغِّلة للمكبِّرين. والسبب وراء وجود إشعاع أقل يكمن في المعاوقة الصوتية للهواء، وهي قيمة مشتقة تتباين حسب مخرج المصادر الصوتية الأخرى في البيئة المحيطة. وبالنسبة إلى مكبِّرَي صوت متماثلين مختلفَيِ الطور، تكون المعاوقة الصوتية للنغم قد قُلِّلت إلى الصفر. وتُحسَب الطاقة من واقع العلاقة التالية: الطاقة = مربع السعة الموجية مضروبًا في المعاوقة الصوتية. الطاقة الآن تساوي صفر واط. بعبارة أخرى: عدم توافق المعاوقة يؤدي إلى عدم إشعاع أي طاقة إلى الهواء. وبفرض أن $Z_1$ هو المعاوقة الصوتية للهواء و$Z_2$ هو المعاوقة الصوتية للمكبِّر، إذا كانت نسبة المعاوقة الصوتية $Z_1/Z_2 = 1$، فإن الطاقة كلها تنتقل ولا ينعكس منها أي مقدار. وفي حالتنا تكون $Z_1/Z_2 = 0$.

*Levine, R. C. "False Paradoxes of Superposition in Electric and Acoustic Waves."* American Journal of Physics *48 (1980): 28–31.*

## (٣١) جرس يدق داخل ناقوس زجاجي*

رغم أن المرء قد يظن في البداية أن التجربة التوضيحية تبيِّن عدم قدرة الصوت على الانتقال عبر الغاز في الضغوط المنخفضة، فإن ما يحدث حقًّا هو انتقال غير كفء بالمرة

للطاقة الصوتية من الجرس الرنان إلى الهواء في الضغط المنخفض؛ لأنه يوجد مقدار كبير من عدم توافق المعاوقة الصوتية (المعاوقة الصوتية هي مقاومة تدفُّق الطاقة الصوتية). ينتقل الصوت على نحو طيب عبْرَ الغاز ما دام الطول الموجي للصوت كبيرًا مقارنةً بمتوسط المسار الحر لجزيئات الهواء. وحتى عند ضغط مقداره ١٠٠٠ نيوتن/متر$^{٢}$ (١٠$^{-٢}$ ضغط جوي)، يكون متوسط المسار الحر ١٠$^{-٣}$ سنتيمتر، وهو أقل بكثير من الطول الموجي للصوت الصادر عن الجرس والبالغ نحو ١٠ سنتيمترات.

إذن المشكلة الحقيقية هي أن قدرًا أقل من الطاقة الصوتية ينتقل من الجرس إلى الهواء، ومن الخواء إلى زجاج الناقوس الزجاجي. يعتمد مقدار الطاقة الصوتية المنقولة ومقدار الطاقة الصوتية المنعكسة على المعاوقة الصوتية للوسطين. يعتمد مقدار الطاقة المنقولة على النسبة $Z_1/Z_2$ للمعاوقة الصوتية؛ حيث $Z = \rho v$؛ حيث $\rho$ كثافة الوسط و$v$ سرعة الصوت في الوسط. حين تكون $Z_1/Z_2 = 1$ فإن الطاقة كلها تنتقل ولا ينعكس منها أي مقدار. وحتى عند الضغط الجوي، تكون معاوقة الهواء أقل كثيرًا من معاوقة الزجاج أو المعدن، وتصير النسبة أقل وأقل مع انخفاض الضغط.

*Chambers, R. G.* Physics Teacher 9 *(1971): 272, 369.*

## (٣٢) بيانو مضبوط النغمات*

الموسيقى الغربية مبنية على سلالم موسيقية تتحدَّد من خلال معدلات تردُّد معينة قيمتها وحدات صحيحة بين النغمات المتتابعة. فيما يُطلَق عليه النظام الطبيعي أو المثالي، الذي يعود تاريخه إلى فيثاغورس، والنِّسَب داخل الأوكتاف (الجواب الموسيقي الواحد) هي:

| C | D | E | F | G | A | B | C |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ١,٠٠٠ | ١,١٢٥ | ١,٢٥٠ | ١,٣٣٣ | ١,٥٠٠ | ١,٦٦٧ | ١,٨٧٥ | ٢,٠٠٠ |
| ٢٤/٢٤ | ٢٤/٢٧ | ٢٤/٣٠ | ٢٤/٣٢ | ٢٤/٣٦ | ٢٤/٤٠ | ٢٤/٤٥ | ٢٤/٤٨ |

| | C | C# | D | D# | E | F | F# | G | G# | A | A# | B | C |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| المعدل | ١,٠٠٠ | ١,٠٥٩٥ | ١,١٢٢٥ | ١,١٨٩٢ | ١,٢٦٠٠ | ١,٣٣٤٨ | ١,٤١٤٢ | ١,٤٩٨٣ | ١,٥٨٧٤ | ١,٦٨١٨ | ١,٧٨١٨ | ١,٨٨٧٧ | ٢,٠٠٠٠ |
| التردد | ٢٦١,٦٣ | ٢٧٧,١٨ | ٢٩٣,٦٦ | ٣١١,١٣ | ٣٢٩,٦٣ | ٣٤٩,٢٣ | ٣٦٩,٩٩ | ٣٩١,٩٩ | ٤١٥,٣١ | ٤٤٠,٠٠ | ٤٦٦,١٦ | ٤٩٣,٨٨ | ٥٢٣,٢٥ |
| معدل السلم المثالي | ١,٠٠٠ | | ١,١٢٥٠ | | ١,٢٥٠٠ | ١,٣٣٣ | | ١,٥٠٠٠ | | ١,٦٦٦٦ | | ١,٨٧٥٠ | ٢,٠٠٠٠ |

هذا السُّلم الموسيقي يمكن بسطه لأعلى إلى الأوكتاف التالي بوسيلة بسيطة، هي مضاعفة كل الأرقام، أو للأسفل عن طريق تقليل الأرقام للنصف. ويستطيع ضابط نغم البيانو ضبط كل المفاتيح البيضاء في البيانو على هذا التتابع من الطبقات الصوتية، ويكون بمقدورك وقتها عزف أنواع عديدة مختلفة من الموسيقى البسيطة.

هَبْ أنك قرَّرت أن تعزف لحنًا بسيطًا يبدأ عادةً على النغمة C بطريقة جديدة، وذلك عن طريق البدء بالنغمة المجاورة على السلم الموسيقي؛ أي النغمة D. ستكون النتيجة غريبة؛ لأن النغمة المعزوفة الآن لن تبدو مثل النغمة الأصلية. بل وسيبدو الاختلاف أكبر لو أنك بدأت عند نغمة أبعد عن النغمة C. كان الحل المُرضي لهذه المشكلة هو استحداث نظام الضبط المتساوي منذ أكثر من ٢٥٠ عامًا، وبهذا صار بمقدورك الآن عزف أي لحن بصورة جيدة بدءًا من أي نغمة.

في نظام الضبط المتساوي يقسِّم الأوكتاف إلى اثنتي عشرة مسافة موسيقية متساوية، تمثِّل كل واحدة منها نصف نغمة (نصف تون)؛ بحيث إن أي نصفَيْ درجةٍ متتابعَيْنِ يكون لهما نفس معدل التردد. وبما أن كل نغمة يجب أن تهتز بتردد يبلغ ضعف تردد النغمة ذاتها على الأوكتاف الأدنى، فإن معدل نصف النغمة من كل نغمة إلى الأخرى يُحسَب بأنه الجذر الثاني عشر للرقم ٢، وتحديدًا ١٫٠٥٩٤٦. وهذا الحل يمنحنا تواليًا هندسيًّا متواصلًا على امتداد لوحة المفاتيح، وتُقرَّب النغمة C بواسطة الترددات (بالهرتز) المبينة في الجدول وبالمعدلات نفسها تقريبًا.

على لوحة مفاتيح البيانو، لا يُحدِث ضابط النغمات أي اختلاف عند ضبط المفاتيح السوداء والبيضاء؛ فكلها مرتبة في تتابع صاعد منتظم من حيث الطبقة الصوتية. والهدف من اللونين والشكلين المختلفين للمفاتيح هو مساعدة العازف على أن يجد طريقه بحاسة اللمس على طول الامتداد العريض للوحة المفاتيح.

في نهاية المطاف، في ظل نظام الضبط المتساوي لا يتفق تتابع الطبقات اتفاقًا دقيقًا مع السلم الطبيعي، لكنه يقدِّم تقريبًا قريبًا من الصواب. في الواقع، الأذن الحديثة (أي منذ وقت باخ في أوائل القرن الثامن عشر) صارت معتادةً على «الأخطاء»، لدرجة أن نظام الضبط هذا صار يبدو صحيحًا لها!

*Bernstein, A. D. “Tuning the Ill–Tempered Clavier.”* American Journal of Physics *46 (1978): 792–795.*

## (٣٣) دقُّ أوتاد الخيمة*

يمكن تفسير هذا الاختلاف في السلوك في ضوء عدم توافق المعاوقة الصوتية لكلتا المادتين مع المعاوقة الصوتية للتربة؛ حيث المعاوقة الصوتية $Z = \rho v$، و$\rho$ كثافة الوسط و$v$ سرعة الصوت في الوسط. إن ضربة المطرقة تتسبَّب في إحداث موجة توتر عابرة في الوتد، وحين تصل الموجة إلى طرف الوتد المتصل بالأرض، ينعكس جزء من الموجة وينتقل جزء آخر إلى الأرض. حين تكون $Z_1/Z_2 = 1$ فإن الطاقة كلها تنتقل ولا ينعكس منها أي مقدار. وهذه الموجة المنقولة تميل إلى تفتيت التربة.

في حالة الوتد الحديدي، يكون عدم التوافق أكبر بكثير منه في حالة الخشب؛ لذا معظم الموجة الموجودة في الوتد الحديدي سينعكس عند نقطة الاتصال، وسيظل أغلب الزخم الممنوح من قِبَل المطرقة موجودًا داخل الوتد؛ ومن ثم سيكتسب الوتد الحديدي سرعة كبيرة وينغرس داخل التربة.

*Rinehart, J. S. "On the Driving of Tent Stakes."* American Journal of Physics *19 (1951): 562.*

______. *"A Demonstration of Specific Acoustic Resistance."* American Journal of Physics *18 (1950): 546.*

## (٣٤) علو الصوت*

مضاعفة شدة الصوت لا تتسبَّب في المعتاد في جعل الصوت المُدرَك أعلى مرتين بالنسبة إلى منظومة الأذن/المخ؛ وسبب هذا هو أن الاستجابة البشرية لعلو الصوت لا تتبع مقياس الديسيبل اللوغاريتمي التقليدي. وبالنسبة إلى نطاقات التردد الصوتية المختلفة، يمكننا قياس استجابات مختلفة للتغيُّر في علو الصوت. عادةً ما يحتاج المرء إلى زيادة في مستوى الشدة الصوتية تتراوح بين ٦ إلى ١٠ مرات من أجل مضاعفة علو الصوت؛ بمعنى أن الإدراك الشخصي يختلف كثيرًا عن استجابة أدوات قياس شدة الصوت، الذي يستشعر ضغط الصوت وحسب. وقد بدأت أدوات القياس الحديثة في تضمين استجابة الأذن البشرية المختلفة للترددات المختلفة هذه في تصميماتها؛ وبذا توجد أدوات قياس متاحة الآن تتوافق على نحو طيب للغاية مع منحنيات الاستجابة البشرية.

وحتى دون وضع استجابة منظومة الأذن/المخ البشرية في الاعتبار، نحن نعلم بالفعل أن الصوت المنخفض التردد سيحتاج إلى موجات صوت ذات نطاق أكبر بكثير كي يوصل نفس مقدار الطاقة الصوتية؛ وذلك لأن مقدار الطاقة لكل ثانية في أي موجة يتناسب طرديًّا مع $f^2A^2$؛ حيث $f$ التردد و$A$ السعة. ومضاعفة التردد تعني ببساطة أن المسافة إلى مصدر الصوت يمكن أن تكون النصف لنفس مقدار الطاقة لكل ثانية، وهذا بشرط أن تكون المعاوقة الصوتية للوسط واحدة.

*Rossing, T. D. "Physics and Psychophysics of High-Fidelity Sound."* Physics Teacher *17 (1979): 563-570.*

الفصل السادس

# الكهرباء

## (١) دائرة ذات ثلاثة مصابيح

فرق الجهد الكهربائي المار عبر المصباح رقم ٣ يصير مقداره صفرًا؛ ومن ثم يتوقَّف عن السطوع. المصباحان ١ و٢ يضيئان بسطوع أكبر من ذي قبل؛ لأن فرق جهد البطارية يتقاسمه الآن على نحو متساوٍ مصباحان متماثلان بدلًا من ثلاثة.

*Hewitt, P. "Figuring Physics."* Physics Teacher *26 (1988): 313–314.*

## (٢) بطارية البطاطس

لن يومض المصباح اليدوي الصغير على نحو ملحوظ. بطارية البطاطس تُنتِج ما يكفي من فرق الجهد الطرفي، لكنها عاجزة عن أن توصل أكثر من بضعة ميكروأمبيرات قليلة من التيار الكهربائي عند فرق الجهد هذا. يمكننا تشغيل ساعة رقمية بشاشة من الكريستال السائل ببطارية البطاطس؛ لأن هذا النوع من الساعات يتطلَّب ميكروأمبيرات قليلة من التيار الكهربائي.

*Stankevitz, J., and R. Coleman. "A Curious Clock."* Physics Teacher *23 (1985): 242.*

## (٣) شبكات المقاومات

المقاومة الإجمالية لكل دائرة من الدائرتين واحدة؛ ومن ثم تتطلَّب الدائرتان قيمة التيار عينها.

*Feynman, R. P.; R. B. Leighton; and M. Sands.* The Feynman Lectures on Physics. *Reading, Mass.: Addison-Wesley, 1964, page 22-12.*

## (٤) مكثِّف واقعي

المكثِّف المعزول المثالي هو وحده القادر على الاحتفاظ بشحنته الكهربائية إلى الأبد. أما المكثِّف الواقعي فله قيمة مقاومة مؤثِّرة على امتداد ألواحه. مثال على ذلك: بعض المكثِّفات الصغيرة بقدرة ٥ فولت وسعة ١ فاراد لها زمن تفريغ مقداره خمس ثوانٍ أو نحو ذلك. هذه القيمة هي الثابت الزمني $T$ للمقاومة × السعة، $RC$، الخاص بهذه المكثِّفات، وبهذا تكون قيمة المقاومة الداخلية لها $R = T/C$ أو ٥ أوم. أغلب المكثِّفات لها ثابت زمني للمقاومة × السعة أكبر من ذلك بكثير.

*French, A. P. "Are the Textbook Writers Wrong about Capacitors?"* Physics Teacher *31 (1993): 156-159.*

*Kowalski, L. "A Myth about Capacitors in Series."* Physics Teacher *26 (1988): 286-287.*

## (٥) متناقضة المكثِّفَين

لنفترض أن كلَّ مكثِّف من المكثِّفَين له السعة $C$، وأن المكثِّف (أ) مشحون إلى فرق جهد $V = CQ$. الطاقة في المكثِّف (أ) تكون عندئذٍ $(1/2)CV^2$. عند توصيل المكثِّفَين، يتم تشارك الشحنة بشكل متساوٍ؛ وبذا ينخفض فرق الجهد إلى $(1/2)V$. الطاقة الإجمالية في المكثِّفَين تبلغ الآن $C(V/2)^2$، وهو ما يعادل $(1/4)CV^2$. هذا الاختلاف في الطاقة الإجمالية في المكثِّفَين هو مصدر الطاقة الحرارية التي سبَّبت سخونة سلك المقاومة.

لو أن $R = 0$، فسيؤدي التيار المار في السلك إلى بناء مجال مغناطيسي. ولو تذبذبت قيمة التيار، فسيشع التيار المتغير موجات كهرومغناطيسية؛ وبذا تُشَع الطاقة بعيدًا مع مرور الوقت.

*Powell, R. A. "Two-Capacitor Problem: A More Realistic View."* American Journal of Physics *47 (1979): 460–462.*

## (٦) حماية من الشحنة

الجواب هو: نعم؛ وذلك عن طريق توصيل الواقي المعدني بمنفذ أرضي جيد، كالأرض. قبل التوصيل بالمنفذ الأرضي، كانت هناك شحنتان متساويتان متعاكستان على السطحين الداخلي والخارجي للواقي المعدني. لكن التوصيل الأرضي يسمح بانتشار الشحنات الموجودة على السطح الخارجي للواقي المعدني عبر سطح أكبر توفِّره الأرض؛ ومن ثم يقترب مقدار الشحنة الخارجية من الصفر. الشحنة الداخلية بالواقي المعدني تظل موجودة هناك بفعل الشحنة العكسية الأصلية المفترض وقايتها. وبتطبيق قانون جاوس حول الواقي، فإن الشحنة الإجمالية داخل الواقي المعدني تساوي صفرًا.

## (٧) ثلاث كرات

قد يخمِّن البعض أن الكرات الثلاث لها نفس الشحنة. وإذا كانت الكرات الثلاث موضوعة عند زوايا مثلث متساوي الأضلاع بحيث تربط ثلاثة أسلاك بين أزواج الكرات الثلاث، فحينها سيكون هذا التخمين صحيحًا.

بيد أن ترتيب الكرات يتَّسم هنا بتناظر ثنائي حول الكرة المركزية؛ ومن ثم ستحمل الكرتان الطرفيتان نفس قيمة الشحنة؛ لِنُسَمِّها $q$. ولنفترِضْ أن الكرة المركزية لها الشحنة $q'$. الكُمون الكهربائي $V$ عند مركز أي كرة يساوي قيمة الشحنة $q$ مقسومة على المسافة $r$ إلى الشحنة، أو $V = q/r$. وفي حالة الكرة المعزولة المشحونة ذات نصف القطر $R$ والشحنة $q$، يساوي الكمون $V = q/R$.

في حالة الكرات الثلاث التي لدينا، يكون الكمون الكهربائي للكرة الوسطى $V = (2q/50\,\text{cm}) + (q'10\,\text{cm})$. ويكون الكمون الكهربائي عند مركز كل كرة من الكرتين الطرفيتين $V = (q/10\,\text{cm}) + (q'/50\,\text{cm}) + (q/100\,\text{cm})$. حين تحل هذه المعادلات، ستحصل على $q = 8Q/23$ و$q' = 7Q/23$. وهذا التوزيع للشحنة سيحافظ على نفس الكمون الكهربائي الثابت على الكرات الثلاث جميعها.

## (٨) الحثُّ الكهربائي

من الممكن شحن المكشاف الكهربائي عن طريق الحثِّ؛ بمعنى أن الجسم المشحون مبدئيًّا لا يَنقِل أيًّا من شحنته إلى المكشاف؛ لأن الجسمين لا يتصل أحدهما بالآخر مطلقًا.

أحضِرِ القضيب السالب الشحنة قُرب قمة المكشاف. ستنفصل ورقتا المكشاف بما يشير إلى أنهما تمتلكان شحنتين متشابهتَيْن تتنافران. في الواقع، الورقتان تملكان شحنتين سالبتين فائضتين (تُطردان من القمة بواسطة القضيب السالب القريب)، والقمة بها شحنة موجبة إضافية. احرص على أن تُبقي القضيب السالب الشحنة في موضع قريب من قمة المكشاف بينما تقرِّب طرف إصبعك من حافة قمة المكشاف. يمكن سماع فرقعة صغيرة وتدلِّي الورقتين، بما يشير إلى أنهما لم تعودا تملكان شحنة فائضة وإنما صارتا متعادلتين. أَبْعِدْ إصبعك ثم أَبْعِد القضيب المشحون. تظل ورقتا المكشاف منفصلتين في هذه الحالة النهائية.

*Little Stinkers. “Charging of an Electroscope.”* Physics Teacher *3 (1965): 185.*

## (٩) تياران متوازيان ١

الجواب هو: نعم. فالبقايا الموجبة للذرات تتحرَّك في الاتجاه الآخر كي تنتج تيارين متماثلين ومجاليهما المغناطيسيَّيْن.

## (١٠) تياران متوازيان ٢

في الإطار الإحداثي $S'$، القوة الإجمالية لها إسهامان: التجاذب من التيارين المتوازيين، والتنافر من المجال الكهربائي. وعلى العكس من حالة السلكين المتوازيين الحاملين لتيارين؛ حيث يوجد من الشحنات السالبة في السلك عدد مماثل للشحنات الموجبة، فإن الشحنة العكسية ليس لها وجود في الحالة المقدَّمة هنا. القوة الكهربائية الطاردة تكون دائمًا أقوى من القوة المغناطيسية الجاذبة، وذلك إلى أن تصل السرعة إلى سرعة الضوء، وهو أمر مستحيل.

*Tilley, D. E. "A Question on Charge Interaction."* Physics Teacher *14 (1976): 115.*

## (١١) عجلة دوارة

المجال الكهربائي الناتج عن الشحنة $Q$ يكون متماثلًا تمامًا في أي نقطة على امتداد المسافة، وذلك في الهواء والزيت. وتكون النتيجة عدم وجود أي عزم.

*Chambers, R. G.* Physics Education *12 (1977): 212, 229.*

## (١٢) مسار الشحنة

الجواب هو: لا. فالقوة الكهربائية ستكون مماسية على خط المجال الكهربائي، لكن لن تكون هناك أي قوة طاردة مركزية؛ ومن ثم لا يمكن أن ينحني مسار شحنة الاختبار على امتداد خط المجال.

*Kristjansson, L. "On the Drawing of Lines of Force and Equipotentials."* Physics Teacher *23 (1985): 202.*
*Sandin, T. R. "Viscosity Won't Curve It."* Physics Teacher *24 (1986): 70.*

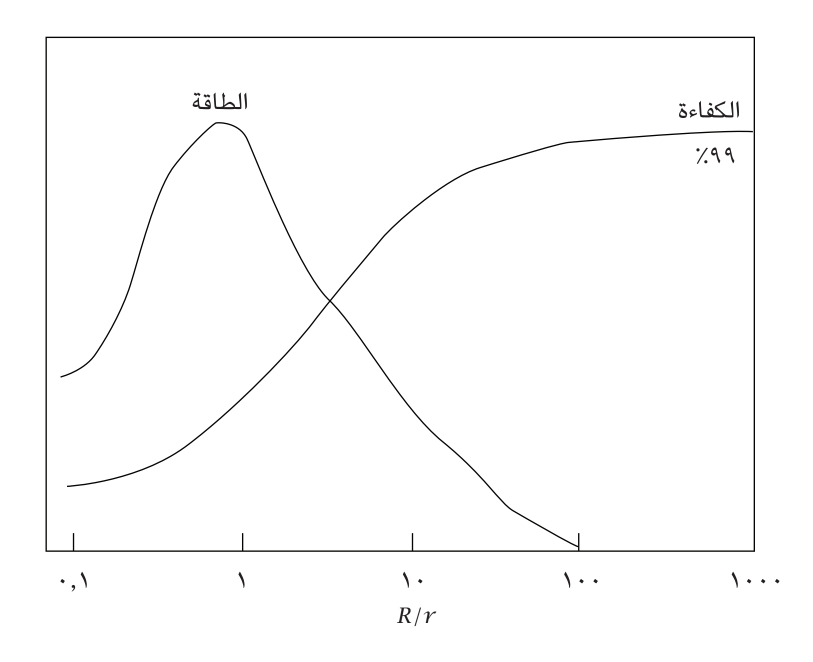
## (١٣) قراءة مقياس الجهد الكهربائي

فرق الجهد على امتداد أي بطارية ١٢ فولت هو ١٢ فولت، سواء أكان هناك صافي تيار يمر عبر المُقاوِم البالغة قدرتُه ٤ أوم أم لا. سيسجل مقياس الجهد الكهربائي قراءة مقدارها ١٢ فولت.

*Viens, R. E. "A Kirchoff's Rules Puzzler."* Physics Teacher *19 (1981): 45.*

## (١٤) لغز انتقال الطاقة

يحدث أقصى انتقال للطاقة حين تكون $R = r$؛ أي حين تكون كفاءة نقل الطاقة ٥٠ بالمائة فقط. مع ازدياد قيمة $R$ مقارنةً بـ $r$، يقل معدل نقل الطاقة إلى الصفر حين تكون الكفاءة ١٠٠ بالمائة.



*Hmurcik, L. V., and J. P. Micinillo. "Contrasts between Maximum Power Transfer and Maximum Efficiency."* Physics Teacher *24 (1986): 493–494.*

*Kaeck, J. A. "Power Transfer in Physical Systems."* Physics Teacher *28 (1990): 214-221.*

## (١٥) المقاومة الخطِّية

الجواب هو: لا. المقاوم القياسي يسلك سلوكًا خطيًّا فقط حين يكون تشتُّت الطاقة في حدود طاقته الاسمية؛ بمعنى حين يعمل في حدود نطاق الطاقة المصمَّم من أجله. يؤدِّي فرط تسخين المقاوِم إلى جعل سلوكه غير متوقَّع في ظل استجابته بصورة لا خَطِّية.

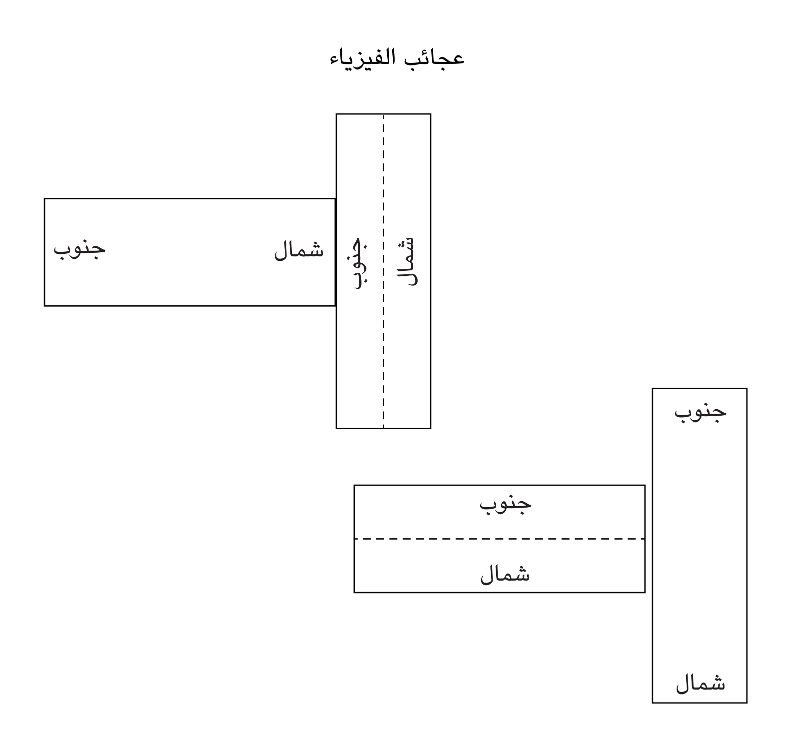
## (١٦) تيارات مشعَّة

الجواب هو: صفر. فتوزيع التيار المتناظر كرويًّا هذا به خطوط من التيار تشعُّ إلى الخارج من المركز، لكن المجال المغناطيسي لكل شعاع من التيار يُلغَى بواسطة مجالات الأشعة الأخرى. ولولا ذلك لصار هذا المصدر قطبًا أحاديًّا مغناطيسيًّا، وهو شيء نعلم أنه ليس له وجود.

*Brain Teaser.* Physics Teacher *9 (1971): 405, 434.*

## (١٧) أيهما المغناطيس؟

ضع القضيبين على النحو المبيَّن بالرسم؛ بحيث يشكِّلان معًا حرف T. إذا كان القضيب العلوي للحرف T هو المغناطيس الدائم، فلن يكون هناك أي تجاذب بينهما.




## (١٨) ما سبب استخدام الحافظة المغناطيسية؟

دون الحافظة المغناطيسية، العديد من خطوط المجال المغناطيسي الواصلة بين القطب الشمالي والجنوبي للمغناطيس سوف تنتأ وتتشتَّت إلى الفضاء المحيط. ويكشف تتبُّع هذه الخطوط وصولًا إلى المادة عند كلا القطبين عن أن اتجاهاتها ليست على امتداد اتجاهات خطوط المجال المرغوبة للمغناطيس الدائم التي تُنتِج قُطبين قويين. ومن شأن أي صدمة حرارية أو ميكانيكية أن تؤدِّي إلى سوء اصطفاف للنطاقات المغناطيسية، وهو ما سيؤدي إلى إرساء اتجاهات مختلفة قليلًا في حالات الحد الأدنى للطاقة الخاصة بها. ويمكننا منع هذه المغنطة الأضعف السيئة التوجيه من الحدوث بواسطة استخدام حافظة تعمل على أن تكون كل خطوط المجال تقريبًا بين القطبين موجَّهةً على النحو المناسب.

## (١٩) المغناطيس

عند وضع القطعة (ب) على المغناطيس، بعض خطوط المجال المغناطيسي تمر «في دائرة قصيرة» عبر القطعة (ب)، وهو ما يقلِّل عدد خطوط المجال المغناطيسي المارَّة عبر القطعة (أ). ستقل قوة الجذب بين القطعة (أ) والمغناطيس بشدة، وستنفصل القطعة عن المغناطيس.

## (٢٠) كرة مغناطيسية

إذا جُمِّعَت الكرة على النحو الموصوف، فسيُنظر إلى الكرة بوصفها لا تملك أي خصائص مغناطيسية؛ وسبب ذلك أنها ستمرُّ بعملية إزالة مغنطة أثناء التجميع. تتسم الكرة بالتناظر عند أي دوران لها؛ وبذا لو أن أي نقطة بالكرة كان لها خطٌّ مجال في اتجاه معين، لكان على دوران الكرة بزاوية ١٨٠ درجة حول محور يصل بين هذه النقطة وبين مركز الكرة أن يؤدي إلى استعادة الحالة الأصلية. يفشل الدوران في عمل ذلك، ما لم يوجد خطٌّ مجال مغناطيسي مقابل يمرُّ بالنقطة. لكنَّ خَطَّيِ المجالين المتساويين في الشدة والمتعاكسَيْن في الاتجاه هذين ستكون مُحَصِّلتهما، مجالهما المغناطيسي، صفرًا. وهو المطلوب إثباته.

## (٢١) بوصلتان

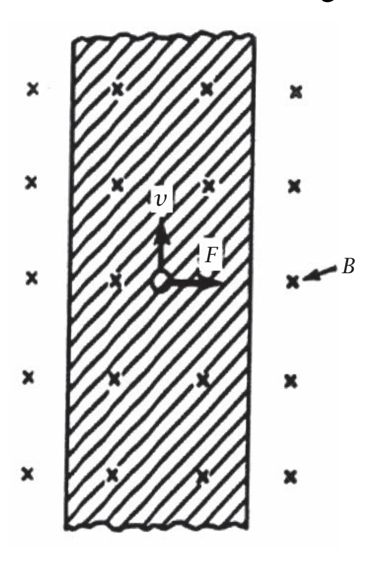
ستسلك البوصلتان سلوك مذبذبين مقترنين اقترانًا ضعيفًا. ستقلُّ ذبذبة الإبرة الثانية بينما تتذبذب الإبرة الأولى بإزاحةٍ زاويَّة متزايدة. بعد ذلك سيسير انتقال الطاقة في الاتجاه المعاكس. وفي النهاية سيُخمِد الاحتكاكُ الذبذباتِ.

يمكننا ملاحظة الشكلين الطبيعيين للتذبذب من خلال هزِّ كلتا البوصلتين في البداية. ومن الممكن إظهار أشكال معقَّدة عديدة من سلوك المذبذبين المقترنين بالاستعانة بهذه المنظومة.

*Snider, J. L. "Simple Demonstrations of Coupled Oscillations."* American Journal of Physics *56 (1988): 200.*

## (٢٢) الشغل المغناطيسي

تخيَّل أن هناك قطعة مكبَّرة من السلك موضوعة في مجال مغناطيسي يشير في اتجاه الصفحة (انظر الرسم)، وافترض أن ثمة تيارًا يتدفَّق في السلك ناحية الجزء العلوي من الصفحة. ستكون هناك قوة جانبية $F = -ev \times B$ على الإلكترونات التي يتألف منها التيار. نتيجة لهذا، ستميل الإلكترونات إلى الانحراف جهة اليمين. سيؤدي فائض الإلكترونات على اليمين ونقصها على اليسار إلى خلق قوة طاردة على الإلكترونات المنحرفة جهة اليمين. يُعرَف هذا باسم تأثير هول. وستواصل الإلكترونات الاحتشاد على اليمين إلى أن تصير القوة الطاردة شديدة بما يجعلها تُعادِل القوة الناتجة عن المجال المغناطيسي، ولا يعود هناك أي محصِّلة قوى تؤثِّر على الإلكترونات. ومع هذا لاحِظْ أن الأيونات الموجبة للمعدن لها مواضع ثابتة ولا تؤثِّر عليها أي قوة مغناطيسية. لكنها الآن معرَّضة بدرجة كبيرة للقوة الكهربائية الناتجة عن احتشاد الإلكترونات جهة اليمين. هذه القوة الكهربائية تجذب الأيونات إلى اليمين؛ وبذا تنتج حركة السلك ككلٍّ. وبذلك يُحَل التناقض عن طريق ملاحظة أن حركة السلك يتسبَّب فيها المجال الكهربائي، لا المغناطيسي. لاحِظْ أيضًا أنه ليس بمقدور المرء أن يعتبر السلك نظامًا مغلقًا؛ لأن الشحنات تواصل الدخول من أحد طرفَي السلك والخروج من الطرف الآخر.



*Coombes, C. A. "Work Done on Charged Particles in Magnetic Fields."* American Journal of Physics *47 (1979): 915-917.*

*Mosca, E. P. "Magnetic Forces Doing Work?"* American Journal of Physics *42 (1974): 295-297.*

### (٢٣) واقٍ كهربائي

الجواب هو: نعم. فمن دون مجال كهربائي، سيعجز جزء المجال المغناطيسي من الموجة الكهرومغناطيسية عن الانتشار. وبهذا يمكن لقفص فاراداي، وهو سياج معدني مصنوع من حاجز سلكي معدني، أن يمنع الموجات الكهرومغناطيسية من الانتشار داخل القفص ما دامت المسافات الفاصلة بين الأسلاك أصغر من الطول الموجي وثخانتها أكبر من العمق الجلدي المغناطيسي.

### (٢٤) تلاشي الموجات في الفضاء الحر

فيما يخص المجال الكهربائي الإجمالي، أو المجال المغناطيسي الإجمالي لتجميعة من الموجات، تُعَدُّ إضافة المجالَيْن الخاصَّيْن بكل موجة منفصلة معًا إجراءً مشروعًا. لكن القدرة (أي الطاقة مقسومة على الزمن) هي في الواقع محصِّلة شدة المجال والمعاوقة الموجية. فإذا كانت المعاوقة الموجية مستقلة عن الموجات الأخرى الحاضرة، يمكننا أن نستخدم تناظر إضافة المجالات. ومع ذلك، تعتمد المعاوقة على نوعية المجالات الأخرى الحاضرة؛ ومن ثم لا يُعَدُّ التراكب في حالة القدرة إجراءً صحيحًا.

*Levine, R. C. "False Paradoxes of Superposition in Electric and Acoustic Waves."* American Journal of Physics *48 (1980): 28-31.*

### (٢٥) الملف الطارد ١

القوة الكهرومغناطيسية حول حلقة الخيط غير الموصِّل للكهرباء ستكون مماثلة لتلك الموجودة حول الحلقة المعدنية. ومع ذلك، لن تُطرَد حلقة الخيط؛ لأنه لن يكون هناك تيار مستحثٌّ في الخيط؛ ومن ثم لن يوجد مجال مغناطيسي مستحثٌّ، ومن ثم، لن ترتفع حلقة الخيط عاليًا.

## (٢٦) الملف الطارد ٢

فعليًّا، تصير الحلقة المعدنية مكافِئة لقطعة مغناطيس يوجد قُطباها في اتجاه معاكس لقطبي الملف الطارد نفسه. القوة المغناطيسية الطاردة لأعلى يجب أن تكون أكبر من قوة الجاذبية لأسفل كي تُحدِث القفزة. علينا أيضًا تفسير التغيُّر الطوري بمقدار ١٨٠ درجة الذي مرَّ به النظام: ٩٠ درجة لقانون الحثِّ لفاراداي إضافة إلى ٩٠ درجة لحثِّ الحلقة المثالية، وذلك على افتراض أن الحلقة ليست لها مقاومة كهربائية.

*Mak, S. Y., and K. Young. "Floating Metal Ring in an Alternating Magnetic Field."* American Journal of Physics *54 (1986): 808–811.*

## (٢٧) شريط مغناطيسي

شريط التسجيل الصوتي موصِّل جيد للكهرباء؛ لذا تنتشر الشحنات الكهربائية بانتظام حول الشريط كله. أقل شكل يتخذه هذا الانتشار من حيث الطاقة هو شكل الدائرة. ويمكننا توضيح هذه الاستجابة عن طريق شحن الشريط ثم تعليقه في الهواء فوق ماسورة مصنوعة من مادة البولي فينيل كلوريد (بي في سي).

## (٢٨) قطَّارة الماء الكلفنية

في البداية سيكون هناك تناظر — ضئيل للغاية — للشحنة بسبب الأشعة الكونية، والنشاط الإشعاعي الطبيعي، إلى آخره. لنفترض أن الصفيحة (أ) تزيد في شحنتها السالبة بمقدار طفيف عن الصفيحة (ب). يستجيب الماء في الفوهات لهذا الاختلاف في الصفحتين العلويتين، بحيث يسمح للقطرات الموجبة الشحنة بالسقوط عبر الصفيحة (أ) إلى الصفيحة (ج) السالبة الشحنة في مواجهة قوة التنافر الكهربائي. تصير الشحنة الموجبة للصفيحة (ج) أكبر من ذي قبل. يمكننا أن نرى أن القطرات المشحونة تتنافر بعضها مع بعض وتتفتت إلى رذاذ من القُطَيرات الأصغر وهي تقترب من الصفحتين السفليتين. بل يمكننا رؤية شرارات واضحة عند حدوث تفريغ مفاجئ.

## (٢٩) القوة الدافعة الكهربائية العكسية*

الجواب هو: لا. فالقوة الدافعة الكهربائية العكسية هي الطاقة لكل وحدة شحنة، التي «تدفع» المحرِّك لبذل شغل ميكانيكي.

إن فرق الجهد $V$ عبر المحرك يساوي مجموع قيمة القوة الدافعة الكهربائية العكسية $E$ والانخفاض في مقدار الأشعة تحت الحمراء المرتبطة بالحرارة المتولدة. وإذا بسَّطنا الموقف من خلال تجاهل احتكاك المحرك والتخلفية المغناطيسية، وافتراض أن المقاومة الكهربائية $R$ هي درجة الحرارة المستقلة، إلى آخره، عندها ستمثل القوة الدافعة الكهربائية العكسية $E$ الطاقة الميكانيكية الناتجة لكل وحدة شحنة. ومع بدء تشغيل المحرك، ستكون $E = 0$، وسيكون التيار $I$ محدودًا بفعل المقاومة الكهربائية للهيكل الخارجي. إذا لم يكن هناك أي حمل ميكانيكي، يتم تحويل القوة الدافعة الكهربائية العكسية إلى طاقة الحركة الميكانيكية للجزء الدوار مع زيادة سرعته. ومع زيادة سرعة الدوران، تقترب $E$ من $V$، وتقترب $I$ من الصفر. في هذا الحد، لا يوجد تيار مع دوران المحرك، ولا يتم تحويل أي طاقة.

في وجود حمل يبطؤ المحرك؛ ومن ثم تقل $E$ كي تسمح بزيادة $I$. والقدرة الميكانيكية الموصلة للحمل تكون $EI$.

*Lehrman, R. "The Back emf of a Motor."* Physics Teacher *21 (1983): 315.*

## (٣٠) التناظر المحوري*

إذا كان القطبان الكهربائيان لوحين مسطحين متوازيين، فسيكون المجال الكهربائي منتظمًا بين اللوحين. ولنا أن نتوقع وقتها أن يستشعر الجسيم المتعادل قوتَي شدٍّ متعادلتين في كلا الاتجاهين بغضِّ النظر عن الموضع الموجود فيه الجسيم بين اللوحين.

لكن في حالة التناظر المحوري، يكون المجال الكهربائي أقوى كثيرًا قُرب السلك المركزي المشحون. يستجيب الجسيم المتعادل بأن يتسارع إلى الداخل نحو السلك. تتناسب قيمة القوة الكهربائية طرديًّا على نحو مباشر مع استقطابية الجسيم المتعادل ومع تدرج المجال الكهربائي؛ أي ما عليه المجال من انتظام. ويُطلَق على التأثير الجاذب الناتج اسم «الهجرة الكهربائية الثنائية». ويكون لدينا هنا النظير الكهربائي للعزم المغناطيسي في تدرُّج للمجال المغناطيسي.

يمكن للمرء استخدام هذا التأثير من أجل الفصل بين الجسيمات ذات الاستقطاب المتباين، على غرار المساحيق الذائبة في السوائل. يمكن بناء تدرُّجات كبيرة للمجال الكهربائي بسهولة؛ لأن هذا التأثير يعمل على النحو المنشود سواء في مجالات التيار المتردد أو التيار المباشر.

*Pohl, H. A. "Nonuniform Electric Fields."* Scientific American *239 (1960): 107–116.*

## (٣١) حلقة نحاسية*

القياسات المُجراة باستخدام مقياس جهد معياري ستُظهِر عدم وجود أي فرق جهد. فمقياس الجهد المعياري يقيس فارق الجهد العددي، لكن القوة الكهرومغناطيسية حول الحلقة تمثِّل جهدًا متجهيًّا.

كُتبت مقالات عديدة في الأدبيات العلمية عن فرق الجهد الذي يجب قياسه، وهي جميعًا مَعْنية بهندسة وصلات الأسلاك الخارجة من مقياس الجهد ومقدار التدفق الذي يَعبُر الدوائر التي تُكوِّنها هذه الوصلاتُ والمقطعان الخاصان بالحلقة.

التفسير التالي يبرِّر القراءة الصفرية للجهد: إذا جعلنا وصلات مقياس الجهد من السلك المجدول بحيث نتخلَّص من أي إسهامات دائرية خلاف تلك الآتية من الحلقة نفسها، فستنتج الوصلات على الطرفين المتقابلين لقُطْر الحلقة موقف تناظر. لا يمكن أن يكون هناك أي فرق جهد في هذا الموقف؛ لأن اتجاهات القوة الكهرومغناطيسية تظل واحدة حول كلتا الحلقتين، بمحصِّلة مقدارها صفر على امتداد القُطر المُشترك ذي اتجاهَيِ التيار المتقابلين.

*Varney, R. N. "Electromotive Force: Volta's Forgotten Concept."* American Journal of Physics *48 (1980): 405–408.*

## (٣٢) طاقة المجال الكهرومغناطيسي*

المرجِع المُدْرَج يشير إلى أن هذا السؤال ربما يظل أحد الأسئلة التي تتناولها البحوث الحاليَّة بالدراسة. وعلى النقيض من ذلك، يمكننا أن نطبِّق مبدأ عدم اليقين لهايزنبرج في

التعامل مع هذا السؤال كي نحدِّد موضع الطاقة في المجال الكهرومغناطيسي حين تكون طاقة كلٍّ من المجالين الكهربائي والمغناطيسي صفرًا في الوقت ذاته.

على النطاقات الصغيرة، تكون تأثيرات ميكانيكا الكم أشد كثيرًا مما هي عليه على النطاقات الكبيرة. ولاكتشاف الموضع الذي توجد فيه الطاقة في منطقة صغيرة تقلُّ فيها الموجة الكهرومغناطيسية الكلاسيكية إلى الصفر، عليك أن تستخدم قواعد ميكانيكا الكم.

ينص مبدأ عدم اليقين لهايزنبرج على أن محصلة ضرب مقدار عدم اليقين بشأن الموضع $\Delta x$ في مقدار عدم اليقين بشأن الزخم $\Delta p$ يجب أن تكون أكبر من ثابت بلانك $h$ أو تساويه. ولتحديد الموضع في الموجة الكهرومغناطيسية التي يصل فيها المجالان إلى الصفر، ستجعل $\Delta x$ أصغر؛ ومن ثم ستصير $\Delta p$ أكبر. لكن $\Delta p$ تساوي $\Delta$ الطاقة مقسومة على سرعة الضوء لأي موجة كهرومغناطيسية؛ ومن ثم يزيد مقدار عدم اليقين في قيمة الطاقة. وعدم يقين الطاقة في القياس سيكون كبيرًا بما يكفي بحيث يستوعب الطاقة الأصلية في الموجة الكهرومغناطيسية الكلاسيكية.

*Bueche, F. J. “Where’s the Energy?”* Physics Teacher *21 (1983): 52.*

## (٣٣) نحلة دوَّارة طافية في مجال مغناطيسي*

هذه اللُّعبة الرائعة، التي يُطلَق عليها اسم «ليفاترون»، تجعل نحلة دوَّارة من المغناطيس الدائم (الخزف) وزنها ٢٢ جرامًا تطفو في الهواء على ارتفاع نحو ثلاثة سنتيمترات فوق قاعدة مغناطيسية إلى أن يقلَّ معدل دورانها إلى أقل من نحو ١٠٠٠ دورة في الدقيقة. رأسيًّا، وفي اتزان، تعادِل القوة الطاردة لأعلى بين المغناطيسين الدائمين قوة الجاذبية الجاذبة لأسفل؛ أي ثقل النحلة الدوَّارة.

للنحلة الدوَّارة زخم زاويٌّ عند محور رأسي تقريبًا. وإذا مالت النحلة الدوَّارة للجانب قليلًا، فستبدأ في الدوران بتَمَايُل بدلًا من أن تنقلب عندما يكون معدل الدوران فوق ١٠٠٠ دورة في الدقيقة. فإذا زاد معدل الدوران بدرجة أكبر مما ينبغي فسيسبب ذلك مشكلات أيضًا!

يُحَد الانحراف الأفقي بواسطة تقوُّس القاعدة، بحيث يكون لمجالها المغناطيسي تدرُّج في المناطق الموجودة فيها النحلة الدوَّارة، وتكون قوة استعادة التوازن قوية بما يكفي، بحيث تدفع النحلة الدوَّارة ثانيةً نحو المركز.

*Berry, M. V. "The Levitron: An Adiabatic Trap for Spins."* Proceedings of the Royal Society of London *452 (1996): 1207-1220.*

*Simon, M. D.; L. O. Heflinger; and S. L. Ridgway. "Spin Stabilized Magnetic Levitation."* American Journal of Physics *65 (1997): 286–292.*

## (٣٤) فئران طافية في مجال مغناطيسي*

يمكن لمجال مغناطيسي تبلغ شدته عددًا قليلًا من التسلا أن يرفع في الهواء مادةً غير مغناطيسية على غرار قطرة ماء أو حتى فأر. رُفعت كُريَّات من الجرافيت في الهواء للمرة الأولى عام ١٩٣٩م. وبدايةً من عام ١٩٩١م توالت عمليات رفع أجسام كبيرة في الهواء.

كل المواد تُظهِر استجابةً مغناطيسية، مهما كانت طفيفة. وحتى الفأر يملك قابلية مغناطيسية غير صفرية! وأي كتاب عن الكهرومغناطيسية يمكنه اشتقاق التعبير الرياضي المتصل بهذه العملية؛ حيث إن القوة المغناطيسية الدافعة للأعلى والمؤثرة على المادة المغناطيسية تساوي $(x/\mu_0)V\nabla B^2$؛ حيث $V$ الحيز المادي، و$x$ القابلية المغناطيسية، و$\mu$ الزخم المغناطيسي، و$B$ المجال المغناطيسي. القوة المؤثرة إلى الأسفل تكون $\rho Vg$. ومن ثم، $\nabla B^2 = 2\mu_0 g(\rho/x)$، وهو شرط يسهُل تحقُّقه في المختبر.

*Geim, A. "Everyone's Magnetism."* Physics Today 51 *(1998): 36–39.*

الفصل السابع

# حركة الأجسام

## (١) الفتاة الخارقة

في الشكل المبيَّن، يجب أن تُرفَع الفتاة (ووزنها س) والمقعد (ووزنه ص) من خلال جذب الفتاة الحبل لأسفل. تدبَّر موقفًا مثاليًّا: حبل عديم الاستطالة عديم الكتلة، وبكرة عديمة الوزن لا يُعاق دورانها، ودعم ثابت. ضع صندوقًا وهميًّا كبيرًا حول الفتاة والمقعد بحيث يخرج الحبل فقط منه (الصندوق الوهمي يعزل القوى العاملة فقط داخل هذا الصندوق عن القوى الخارجية). يلتف الحبل حول البكرة بالأعلى ويدعم الصندوق مرتين. وفق قانون نيوتن الثاني، في الاتجاه العمودي قوة الجذب لأسفل الخاصة بالجاذبية (التي تساوي الوزن الإجمالي: س + ص) يجب أن تفوقها قوة الجذب الإجمالية لأعلى لقطعتَي الحبل كي يكون لدينا محصلة قوى وتسارع لأعلى. قوة الشد $T$ لأعلى لكل قطعة حبل داعمة تنتج لنا قوة إجمالية لأعلى مقدارها $2T$؛ ومن ثم يجب أن تكون $2T$ أكبر من س + ص كي تتسارع المنظومة لأعلى. وبناءً عليه، إذا كان وزن الفتاة ١١٠ أرطال ووزن المقعد ١٠ أرطال، يجب أن تبذل الفتاة قوة لا تقل في مقدارها عن ٦٠ رطلًا على الحبل، وهو أمر يمكن تحقيقه بسهولة.

## (٢) رَفْع نفسك بواسطة جذب رباط حذائك

في الشكل المبيَّن، يجذب الرجل (ووزنه س) الحبل لأعلى بقوة $T$، وهو ما ينتج قوة شد $T$ في الحبل. تدبَّرْ موقفًا مثاليًّا: حبل عديم الاستطالة عديم الكتلة، وبَكَرة عديمة الوزن لا يُعاق دورانها، ودعم ثابت من أعلى. ضع صندوقًا وهميًّا حول الرجل واللوح بحيث يخرج الحبل منه فقط كي يرتبط بالدعم الثابت (الصندوق الوهمي يعزل القوى

العاملة فقط داخل هذا الصندوق عن القوى الخارجية). وفق قانون نيوتن الثاني يبدأ تسارعٌ لأعلى حين تفوق قوة الشد $T$ في قطعة الحبل الداعمة الوحيدة قوة الجذب لأسفل الخاصة بالجاذبية المؤثرة على كل شيء بالداخل؛ أي س + ص، وزن الرجل والصندوق. وبناءً عليه، حين يجذب الرجل بقوة $T$ أكبر من س + ص، سيرتفع هو والصندوق من على الأرض.

في اختبار فعلي، وصفه جيه بي دريك في عدد العشرين من أكتوبر عام ١٩١٧م لمجلة ساينتفيك أمريكان، لم يرفع رجل يزن ١٩٠ رطلًا نفسه بهذه الوسيلة وحسب، بل رفع أيضًا لوحًا وزنه ١١٠ أرطال أيضًا.

*Mott-Smith, M.* Principles of Mechanics Simply Explained. *New York: Dover Publications, 1963, pp. 144–145.*

## (٣) الميزان الزُّنْبُركي

سيسجل الميزان قراءة مقدارها ١٠٠ رطل! عند تعليق الجسم البالغ وزنه ٦٠ رطلًا على خُطَّاف الميزان، تقل قوة الشد في الحبل السفلي فورًا إلى ١٠٠ رطل مطروحًا منها ٦٠ رطلًا؛ أي تصير ٤٠ رطلًا. ومع ذلك، مجموع القوى المؤثِّرة إلى أسفل التي يبذلها الجسم البالغ وزنه ٦٠ رطلًا وقوة الشد البالغة ٤٠ رطلًا في الحبل لا يزال مقداره ١٠٠ رطل. لقد أزال الجسم البالغ وزنه ٦٠ رطلًا بعضًا من الحِمل الذي يحمله الحبل، لكن الحِمل الإجمالي ظل كما هو. ومن ثم، إذا عُلِّقَ أي جسم يقل وزنه عن ١٠٠ رطل على الخطاف، فستظل القراءة عند ١٠٠ رطل. وإذا عُلِّقَ جسم وزنه ١٠٠ رطل على الخطاف، فستصير قوة الشد في الحبل صفرًا، وسيكون الجسم قد أخذ دور الحبل بالكامل. أما إذا عُلِّقَ جسمٌ وزنه أكثر من ١٠٠ رطل على الخطاف، فسيرتخي الحبل، وتتساوى القراءة مع وزن الجسم المعلَّق في الخطاف.

## (٤) القرد والموز

العزمان الخارجيان المتقابلان اللذان ينتجهما القرد والموز حول محور البكرة سيُلغي أحدهما الآخر. ومن ثم يكون الزخم الزاوي $L$ حول محور البكرة محفوظًا كما يتطلبه قانون حفظ الزخم الزاوي. هنا يكون $L$ في البداية صفرًا؛ لذا هو يظل صفرًا بِغَض

النظر عما يفعله القرد. وتحديدًا، أي حركات لأعلى من جانب القرد والموز لا بد أن تكون متساوية. بطبيعة الحال، إذا بدأ القرد الحركة وهو في موضع منخفض مقارنةً بسباطة الموز، فستظل المسافة الرأسية بينهما واحدة، وهو ما سيجعل القرد محبَطًا لعدم قدرته على الوصول للموز (نفترض هنا أن سباطة الموز لا تصل إلى ارتفاع يجعلها تثبت حركة البكرة).

بالنظر إلى تفاصيل القوى، ستحتاج إلى أن تضع في اعتبارك قوة الشد على امتداد الحبل، الذي يجب أن يدعم وزن القرد ويمده بالقوة من أجل تسارعه لأعلى الحبل على هذا الجانب بينما يدعم الموز على الجانب الآخر. وتحديدًا، ليس بوسع الحبل عديم الاستطالة أن يزيد قوة الشد الخاصة به، لكن عليك أن تفترض أن الحبل عديم الاستطالة له قوة شد متماثلة عند كل النقاط على امتداد الحبل.

عند الطرف الخاص بالقرد، تجذب آخرُ قطعة حبل القردَ لأعلى بقوة شد $T =$ $(mg + ma)$؛ أي بقوة $mg$ كي تدعم وزنها إضافةً إلى القوة الخارجية التي تساوي $ma$ (مقدار شد القرد على الحبل) كي توفر تسارعًا لأعلى. وتعمل قوة الشد عينها على سباطة الموز على الطرف الآخر من الحبل كي تسبب تسارعها لأعلى بمقدار مساوٍ. وبذا سيرتفع القرد وسباطة الموز معًا.

## (٥) ساعة رملية على ميزان

من اللحظة التي تضرب فيها أول حَبَّة رمل قاع الساعة الرملية إلى اللحظة التي تغادر فيها آخر حبَّة رمل الحجيرة العلوية، تظل القوة الناتجة عن اصطدام التيار الساقط ثابتة، وتساعد في جعل الوزن الإجمالي مساويًا لوزن الساعة الرملية قبل قلبها. فحين يبدأ تيار الرمال في السقوط، لا يسهم الرمل الساقط سقوطًا حرًّا في الوزن؛ لذا يُسجَّل وزنٌ أقل بدرجة طفيفة في الأجزاء القليلة الأولى من المائة من الثانية. ومع سقوط حبَّة الرمل الأخيرة واصطدامها، تكون هناك برهة قصيرة من الوقت يتجاوز الوزنُ فيها الوزنَ المبدئي. فلكل حبَّة رمل تضرب القاع الآن، لم يعُد هناك حبة رمل تغادر الحجيرة العلوية؛ لذا يزداد وزن الساعة الرملية.

*Shen, K. Y., and B. L. Scott.* "The Hourglass Problem." American Journal of Physics *53 (1985): 787.*

## (٦) كم يبلغ وزنِي على أي حال؟

تَنتُج التذبذبات عن حركة مركز الجاذبية الخاص بالدم لأعلى ولأسفل مع مرور القلب بدورة ضرباته. بالنسبة إلى شخص يزن ١٦٥ رطلًا، يبلغ مقدار التذبذب نحو أوقية واحدة. ويمكنك محاكاة هذا التأثير (وتحقيق نتائج أكبر بكثير!) عن طريق الوقوف على ميزان الحمام مع رفع ذراعَيْك وخفضهما.

بينما تبدأ في النزول من على الميزان، سيكون عليك أن تثني ركبتك أو ركبتيك كي تأخذ الخطوة الأولى. وللحظة سيتسارع أغلب جسدك لأسفل؛ وبذا لا يدعم الميزان وزنه الكامل. ولهذا السبب «تقلُّ» قراءة الميزان بقدر طفيف!

## (٧) اللَّوح والمطرقة

للمنظومة نفس الزخم الأفقي قبل اصطدام المطرقة باللوح وبعده مباشرة. فقبل اصطدام المطرقة المتحرِّكة باللوح الساكن مباشرةً، يكون زخمها في اتجاه اللوح. وبعد الاصطدام مباشرةً، يتحرَّك اللوح (والفتاة فوقه) في الاتجاه الأصلي لحركة المطرقة، وتتحرَّك المطرقة الآن مع اللوح (في الوضع المثالي). تسبب الفعل في نقل الزخم الأفقي من المطرقة إلى اللوح + الفتاة + المطرقة، بحيث يُستوفى قانون حفظ الزخم.

يلعب الاحتكاك مع الأرضية دورين؛ أولًا: الاحتكاك الساكن يمنع اللوح من التحرُّك إلى أن تضرب المطرقة ضربتها. وثانيًا: الاحتكاك الحركي العامل بين الأرضية واللوح المتحرِّك بعد الضربة يعمل على إعادة المنظومة المتحركة ثانيةً إلى السكون، وفي الوقت ذاته ينقل الزخم إلى الأرض.

*Phillips, T. D. "Finding the External Force."* American Journal of Physics *22 (1954): 583.*

## (٨) الحصان المتمايل

في البداية، يتسارع الحصان من السكون، لكنه سريعًا ما يصل إلى سرعة ثابتة حتى يقترب من حافة الطاولة. التسارع المبدئي من السكون يأتي استجابةً لمحصِّلة القوى الأفقية المبذولة عبر الخيط بواسطة الثقل المعلَّق أسفل الحافة. والسرعة المتوسطة الثابتة

تقريبًا هي نتيجة لهذه القوة الخارجية الأفقية الثابتة التي كافأتها قوة الاحتكاك الساكن المقاوِمة للحركة الأمامية. وحين يقترب الحصان المتمايل من الحافة، بحيث تميل زاوية الخيط بدرجة أكبر نحو المستوى الرأسي، تزداد القوة الطبيعية للحصان تجاه الطاولة بدرجة كبيرة. وهذا يزيد قوة الاحتكاك الساكن بما يجعل الحصان يتوقَّف ساكنًا قبل الحافة مباشرة. يا له من حصان بارع!

العديد من الناس يتدبَّرون القوة الأفقية للخيط وحسب ونقصانها في القيمة بينما يقترب الحصان من الحافة. وهم يخفقون في تطبيق قوانين نيوتن بالشكل الصحيح؛ لأنه حتى إذا صارت قوة الخيط هذه صفرًا قبل أن يصل الحصان إلى الحافة، فسينقلب الحصان من فوق الحافة مع ذلك! يقضي قانون نيوتن الأول بأن الحصان ينبغي له أن يستمر في حالة الحركة المنتظمة الخاصة به في خط مستقيم، ما لم تؤثِّر عليه قوة خارجية. وفي حالتنا هذه، محصِّلة القوى الخارجية الكبرى هي قوة احتكاك ساكن، وهو ما قد يؤدي بالحصان إلى التوقف في سكون، حتى لو لم تزدَدْ قيمة هذه القوة.

## (٩) مدفعان

الإجابة المثيرة للدهشة هي أنه بغضِّ النظر عن المسافة الفاصلة بين المدفعين، والزاوية التي يصَوِّبان بها، ستتصادم القذيفتان دائمًا في الهواء (مع تجاهل التأثيرات الهوائية).

لفهم السبب، أوقِفْ عمل الجاذبية مؤقتًا. ستتحرَّك القذيفتان في هذه الحالة على امتداد مسار مستقيم بين المدفعين وتتصادمان في منتصف المسافة. أعِدْ تشغيل الجاذبية وستسقط القذيفتان مسافتين متساويتين إلى أن تتصادما في الهواء بالمثل.

## (١٠) قانون الجذب العام

المعادلة التي بين أيدينا غير مكتملة. صرَّح نيوتن بوضوح بأن قانون التربيع العكسي للجذب العام ينطبق على الجسيمات ذات الكتلة وليس على الأجسام الممتدة؛ بحيث تشير $d$ إلى المسافة بين جُسَيْمين ذَوَيْ كتلة. فقط في حالة الكرات المتناظرة شعاعيًّا تشير $d$ إلى المسافة بين مركزَي الكتلة؛ أي المركزين الهندسيين. وفي الأحوال الأخرى كافةً، علينا دمج القوة المؤثِّرة على المكوِّنات الجُسَيْمية للأجسام الممتدة.

## (١١) موازنة عصا المكنسة

الجواب هو: لا. فالجزء الأقصَر من عصا المكنسة الذي يحتوي على المقشَّة أثقل من الجزء الآخر. الجزء الأقصر والمقبض الطويل يتوازنان؛ لأنهما يبذلان عزمين متساويين متعاكسين حول نقطة الدعم، وليس لأنهما متساويان في الوزن. إن مركز جاذبية الجزء الأقصر أقرب إلى نقطة الدعم؛ لذا فإن وزنه (الذي يمكن افتراض أنه متركِّز هناك) يجب أن يكون أكبر كي يوفِّر العزم الموازِن. فكِّرْ في طفلين يركبان أرجوحة، كي يتوازنا يجب على الطفل الأثقل وزنًا أن يقترب من نقطة الارتكاز.

## (١٢) يحيا الاختلاف!

في حالة الرجل يكون مركز الكتلة أقرب إلى الرأس مما في حالة المرأة. ومن ثم، سيعجز الرجل العادي في إسقاط عُلبة الثقاب دون أن يحرِّك مركز كتلته للأمام لأبعد من ركبتيه، وهو ما سيجعله ينقلب. بعبارة أخرى: تشكِّل الركبتان المحور الأفقي الذي يوفِّر مركز الكتلة عزمًا حوله. وما دام العزم يعيد الشخص إلى قدمَيْه ثانيةً، لا ينقلب النظام. ثمة طريقة أخرى للتعبير عن هذا الشرط تعتمد على كون مركز الكتلة في موضع أعلى من قاعدة الدعم المحدَّدة بواسطة أصابع اليدين والقدمين.

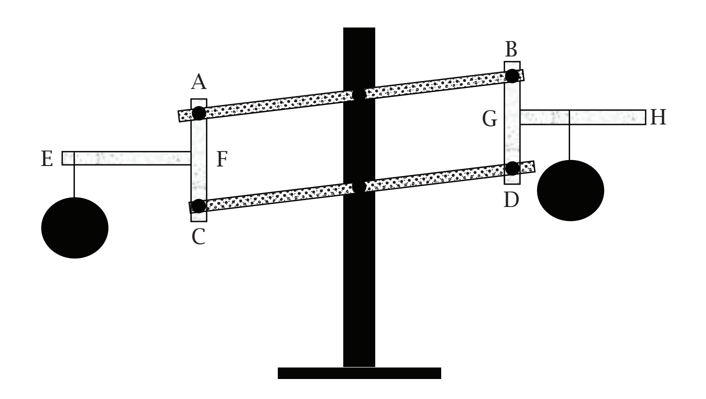
للنساء أيضًا مزية على الرجال عند الطفو على ظهورهن في الماء؛ لأن توزيع وزنهن يميل لأن يكون مختلفًا بدرجة كبيرة. بالنسبة إلى الرجال، يبتعد مركز الطفو كثيرًا عن مركز الجاذبية؛ إذ يقع مركز الطفو في منطقة الصدر فيما يوجد مركز الجاذبية عند الأرداف. بالنسبة إلى النساء، يوجد المركزان كلاهما في منطقة البطن. ونتيجة لذلك، يطفو الرجل بزاوية مائلة طفيفة؛ بحيث يكون الجزء العلوي من الجذع خارجًا من المياه بدرجة أكبر من الجزء السفلي من الجذع. أما النساء فيطفون على نحو مستوٍ.

*McFarland, E. "Center of Mass Revisited."* Physics Teacher *21 (1983): 42.*

## (١٣) مفارقة التوازن

في كلا الشكلين، القضيبان AC وBD رأسيَّان على الدوام، والقضيبان EF وGH، المثبَّتان بإحكام إلى القضيبين الرأسيين، أفقيَّان على الدوام. بما أن F وG يقعان على المسافة

عينها من المحور المركزي، فإن الجسمَيْن الموجودَيْن على القضيبين EF وGH يتحركان لأعلى ولأسفل بالمسافة عينها بغض النظر عن موضعهما على القضيبين.




ولأن وزنَيِ الجسمين متساويان، فإن الشغل المبذول بواسطة الجاذبية عند خفض الجسم الموجود على القضيب EF يجب أن يكون مساويًا للشغل الذي يمكن طرحه من الجسم الموجود على القضيب GH بعد أن يُرفع. لكن مقدار الشغل بالنسبة إلى الحركة الدورانية يساوي العزم مضروبًا في المسافة الزاوية المقطوعة. وبما أن كِلَا جانبَيِ القضيبين الطويلين للمنساخ الميكانيكي يتحركان عبر الإزاحة الزاوية ذاتها، يجب أن يكون العزمان المتقابلان حول بنزات الارتكاز متساويين في المقدار. ومن ثم، تظل المنظومة في حالة توازن بغض النظر عن موضع الجسمين على القضيبين الأفقيين في كل جانب من الجانبين.

إذا أزلنا القضيبين EF وGH وثبَّتنا صفيحتين مسطَّحتين عند A وB، فسنحصل على توازن ذي خاصية مفيدة للغاية؛ إذ لن يكون علينا وقتها أن نكون حريصين على وضع الجسم الموزون أو الأوزان في مركز الصفيحة.

في الواقع، تُعَدُّ وضعية متساوي الأضلاع عنصرًا ضروريًّا في كل الموازين التي تكون كِفَّاتُها مدعومة من الأسفل بدلًا من أن تكون معلَّقة من الأعلى. والميزان المشيَّد على هذا النحو يسمَّى ميزان روبيرفال، على اسم الفيزيائي والرياضي الفرنسي الذي اخترعه عام ١٦٦٩م.

*“A Balance.” Little Stinkers section of* Physics Teacher *3 (1965): 39.*

## (١٤) السير على حبل مشدود

الوزن الإضافي لا يهم السائر على الحبال إلا قليلًا؛ إذ يجب أن يمنع الشخص نفسه من الوقوع من على الحبل. يزيد القضيب الأفقي زخم الشخص القصوري حول محور الميل الموازي للحبل؛ بحيث يحدث أي ميل على نحو أبطأ بكثير مما كان سيحدث دون وجود القضيب. ومن ثم يكون هناك وقت أكبر بكثير للتعافي واستعادة التوازن.

سيضع الفيزيائي معظم كتلة القضيب قرب الطرفين؛ لأن الزخم القصوري $I = mr^2$؛ حيث $r$ المسافة من محور الدوران. ومن شأن كتلة صغيرة في هذا الموضع أن تساوي في فعاليتها كتلة أكبر بكثير موضوعة قرب السائر على الحبل.

## (١٥) موازنة عصا عمودية

تنطبق مقولة إن الأجسام ذات مركز الجاذبية المنخفض تكون أكثر استقرارًا من الأجسام ذات مركز الجاذبية المرتفع على المواقف التي تتضمن توازنًا ساكنًا (استاتيكيًّا). ففي هذه الظروف، ستتسبب أي إمالة طفيفة عن الوضع العمودي في تحريك الخط العمودي لمركز الجاذبية إلى خارج مساحة الاتصال الخاصة بالقاعدة، وهو ما ينتج عزمًا صافيًا حول المحور الأفقي. ومن ثم، تسقط العصا الطويلة بسهولة كبيرة مقارنة بعقب القلم الرصاص القصير، الذي يحتاج إلى إمالة أكبر.

عند موازنة العصا على طرف الإصبع، يكون من الممكن تحريك الإصبع حتى يتم الإبقاء عليه أسفل مركز جاذبية العصا. العصا الطويلة لها زخم قصوري أكبر؛ لذا يكون معدل دورانها الزاوي أصغر من العصا القصيرة. وبهذا سيكون لديك وقتٌ كافٍ لتحريك إصبعك نحو مركز الجاذبية قبل أن تسقط العصا.

## (١٦) العِصِيُّ المتسابقة

خلافًا لتوقعات معظم الناس، تصل العصا (أ) إلى أدنى موضع لها قبل العصا (ب). في الواقع، خلال الحركة كلها من الموضع الأعلى إلى الموضع الأكثر انخفاضًا، تكون العصا (أ) متقدِّمة دومًا على العصا (ب).

هناك طرق عدة لتحليل سلوك العَصَوَين. على سبيل المثال، بتطبيق قانون نيوتن الثاني على العزم، سنستنتج أن التسارع الزاوي يتناسب طرديًّا مع معدل العزم مقسومًا

على الزخم القصوري حول نقطة الارتكاز. فالعزم الأكبر المؤثِّر على العصا (ب) ليس كافيًا لتعويض زخمها القصوري الأكبر؛ لذا يظل تسارعها الزاوي دائمًا أصغر من التسارع الزاوي للعصا (أ).

*Hoffman, P. O. “A Mechanics Demonstration.”* American Journal of Physics *23 (1955): 624.*

## (١٧) الأصابع السحرية

قد تتوقَّع أن ينزلق الإصبع الداعم العلوي أولًا؛ لأنه يبدو وكأنه يدعم وزنًا أقل. ستكون قيمة قوة الاحتكاك الساكن القصوى الخاصة به أقل؛ ومن ثم سيسهل تجاوزها. ومع ذلك، بوضع العصا بالزاوية نفسها، يزيد الضغط للداخل عند الجانبين على نحوٍ متساوٍ من القوة الداعمة لحظيًّا (ومن ثم يزيد من الاحتكاك الساكن) عند نقطة الاتصال العليا، ويسمح للإصبع الداعم الأسفل بالحركة أولًا.

## (١٨) سباق عُلب الحساء

الحساء السائل كحساء الدجاج لا يقترن جيدًا (بمعنى أنه ينزلق) مع الجدار الداخلي للعُلبة بينما تتدحرج هابطة على السطح المائل. ومن ثم معظم الطاقة الحركية الخاصة به عند كل موضع منخفض على امتداد السطح المائل ستكون طاقة حركية انتقالية، يصاحبها مقدار طفيف للغاية من الطاقة الحركية الدورانية. في المقابل، سيدور الحساء الأكثر تماسكًا، مثل كريمة البروكلي، مع دوران العُلبة؛ بحيث تصير الطاقة الحركية الدورانية ملحوظةً يصاحبها مقدار طفيف من الطاقة الحركية الانتقالية. ومن ثم، سيملك الحساء الأكثر سيولةً على الدوام سرعةً انتقالية أكبر أثناء هبوط السطح المائل بما يمكِّنه من الفوز بالسباق.

لا تلعب كتلة العُلبة أو نصف قُطرها دورًا أساسيًّا في سلوك التدحرج الخاص بالعُلب ذات أنصاف الأقطار الكبيرة، لكن علينا أن نتدبَّر مدى قرب جدار الحساء من السائل الموجود بالداخل من أجل الاعتبارات الخاصة باقتران اللزوجة. وكلما صار نصف قُطر العُلبة أصغر، حاوَلَ المزيد والمزيد من الحساء السائل التدحرج بنفس الحركة الدورانية الخاصة بالعُلبة.

*Stannard, C. R.; P. O. Thomas; and A. J. Telesca Jr. "A Ball with Pure Translational Motion?"* Physics Teacher *30 (1992): 526.*

## (١٩) النحلة الدوَّارة المنقلبة

من منظور الشخص الناظر من أعلى على النحلة الدوَّارة، تدور النحلة الدوَّارة حول نفسها في الاتجاه عينه، سواء حين تكون منتصبة أو بعد انقلابها. ومع ذلك، بما أن النحلة انقلبت رأسًا على عقب، فلا بد أن دورانها قد انعكس! عندما نضع في الاعتبار الدورانَيْنِ حول المحور العمودي فقط، فإن الاحتكاك مع السطح هو ما قدَّم العزم المطلوب لتحقيق هذا الأمر مع انقلاب النحلة رأسًا على عقب.

*Barnes, G. "Tippe Top Thoughts."* Physics Teacher *25 (1987): 200.*

*Cohen, R. J. "The Tippe Top Revisited."* American Journal of Physics *45 (1977): 12–17.*

## (٢٠) الحجر نصف البيضاوي الغامض

إن عدم المحاذاة بين المحور الطولي للجزء البيضاوي والمحور الطولي للجزء المسطَّح — أي محور الجسد — يسهم في وجود هذا السلوك. فإذا أُدير الحجر في الاتجاه «الخاطئ»، فستتسبَّب قوة الاحتكاك الحركي في نهاية المطاف في سكون الحجر دورانيًّا، لكن مع استمرار حركة الاهتزاز. وحين يلمس الاهتزاز إلى الأسفل سطحَ الطاولة بدرجة مناسبة، تبذل الطاولة عزمًا دورانيًّا صافيًا صغيرًا في الاتجاه «الصحيح»، ويبدأ الحجر في الدوران. وما دامت الحركة الاهتزازية مستمرة، يمكن أن تنشأ عزوم صافية صغيرة إضافية، بحيث تواصل تحويل الحجر إلى الدوران في الاتجاه «الصحيح» ضد القوة الاحتكاكية المعاكِسة.

*Walker, J. "The Mysterious 'Rattleback': A Stone That Spins in One Direction and Then Reverses."* Scientific American *250 (1979): 172.*

## (٢١) الرصاصة الغامضة

الرصاصتان متماثلتان في كل شيء ما عدا المادة المصنَّعة منها كل رصاصة منهما. فالرصاصة (أ) لا بد أنها مرَّت بتصادم مَرِن مع الهدف وارتدَّت عنه، بينما انغرست الرصاصة (ب) في الهدف. في أبسط الحالات، كان التغير في زخم الرصاصة (أ) ضعف التغير في زخم الرصاصة (ب) لو أن التغير في الزخم لكلتا الرصاصتين حدث خلال الفترة الزمنية عينها. عندئذٍ ستكون قوة الاصطدام الخاصة بالرصاصة (أ) ضعف قوة الاصطدام الخاصة بالرصاصة (ب).

## (٢٢) مركزا الكتلة لمثلث ومخروط

مركز الكتلة لمخروط دائري قائم يقع على مسافة «ربع» ارتفاع المخروط. سبب انخفاض مركز الكتلة هذا سيصير واضحًا لو أننا تصوَّرنا أن المخروط يتكوَّن من شرائح مثلثة رفيعة موازية لأكبر شريحة مثلثة تمر عبر القمة. مركز كتلة كل شريحة مثلثة يقع على مسافة ثلث ارتفاع الشريحة. ومع ذلك، بينما تصير الشرائح أصغر وأصغر نحو الإطار الخارجي للمخروط، تنخفض بالمثل ارتفاعات مراكز الكتلة أكثر وأكثر ناحية قاعدة المخروط. نتيجة لذلك، ينخفض مركز كتلة المخروط كله إلى نقطة تقع على مسافة ربع ارتفاع محوره. ومن الممكن حساب قيمة الربع باستخدام حساب التفاضل والتكامل.

## (٢٣) البقاء على القمة

عوامل عديدة تؤثِّر على الموضع الذي تتحرَّك إليه التفاحات أثناء الاهتزاز. ليس بوسع أي تفاحة يزيد حجمها عن الحيز الفاصل بين تفاحتين أسفلها أن تنزلق عبر هذا الحيز؛ ومن ثم لا تتحرك التفاحات الموجودة بالأسفل إلى الجانب، وتظل التفاحة الأكبر فوقها. في المقابل، أي تفاحة أصغر من الحيز المتاح يمكنها أن تسقط بسهولة لأسفل. وحين تحدث إعادة التموضع هذه مرات عديدة داخل دلو مملوءة بتفاحات ذات أحجام مختلفة، سينتهي المآل بالتفاحات الأكبر حجمًا في المستويات الأعلى.

في الصورة الأكبر، يكون النظام في أكثر مواضعه استقرارًا حين تصل طاقة الوضع الخاصة به إلى مستواها الأدنى. سيكون مركز جاذبية التفاحات في أدنى مواضعه حين تصير التفاحات الموجودة في القسم الأدنى من الدلو في أشد صور الاحتشاد إحكامًا.

وسيكون مركز الجاذبية في أدنى مواضعه لو كانت كل الفجوات والثغرات مملوءة بالتفاحات الصغيرة. ونتيجة لذلك، سينتهي المطاف بالتفاحات الأكبر على القمة.

الأكثر إثارةً للدهشة هو أنه حتى الأجسام الأشد كثافةً يمكن جعلها تتحرك لأعلى بهذه الطريقة! فارتفاع الصخور في فصل الربيع يحدث في الأساس بسبب الاضطرابات التي تسمح لحظيًّا للحُبيبات بالانزلاق لأسفل تحت الصخور كي تمنع عودتها إلى موضعها المبدئي، رغم أنه عادةً ما يُفسَّر هذا الأمر بأنه راجع إلى الصقيع الموجود في الأرض. هنا تأخذ الاضطرابات شكل تجمُّد وذوبان، لكن يمكن تحقيق النتيجة عينها من الصدمة والاهتزاز. وكمثال آخر على الانفصال بسبب الحجم فكِّر في إجابة السؤال التالي: أين تجد حُبيبات الذرة التي لن تنتفخ وتتحوَّل إلى فشار؟ الجواب هو: في القاع. ففي هذه الحالة تعد الكثافة الأعلى لحُبيبات الذرة التي لم تتحوَّل إلى فشار عاملًا مساهمًا هي الأخرى.

*Raybin, D. M. "The Stones of Spring and Summer."* Physics Teacher *27 (1989): 500.*

## (٢٤) الجاذبية المضادة

شاهِدِ البِلْية بحرص من الجانب، وسترى ما يحدث في حقيقة الأمر. بينما تتدحرج البِلية ناحية الطرف العلوي، فإنها في الواقع تهبط قليلًا بين الماصتين المتباعدتين. ومن الممكن ملاحظة التأثير عينه عند السماح لمخروط مزدوج (أي مخروط له طبقتان) مصنوع من قمعين بلاستيكيين بالتدحرج هابطًا مسارًا مزدوجًا منحدرًا محفورًا في ورق مقوًّى.

*Edge, R. D. "String and Sticky Tape Experiments: An 'Antigravity' Experiment."* Physics Teacher *16 (1978): 46.*

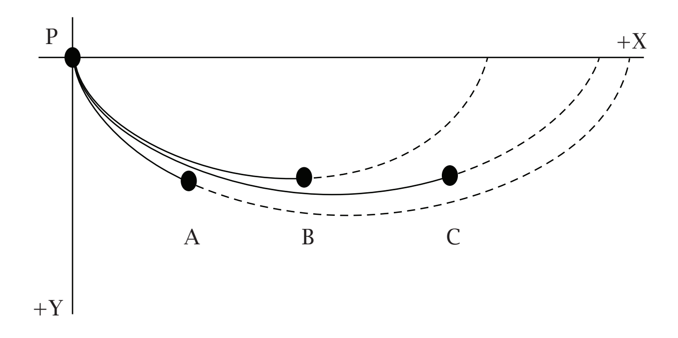
## (٢٥) أي مسار؟

الكرة المتدحرجة على امتداد المسار ADC ستصل القاع أولًا. صحيح أن الكرتين تقطعان مسافتين متماثلتين، وأن التسارع على امتداد AC وAB متساوٍ مع التسارع على امتداد AD وBD بسبب الانحدار المتساوي للأسطح. إلا أن الكرة التي تتحرك عبر المسار DC

ستتمتع بسرعة ابتدائية عالية اكتسبتها خلال هبوطها السريع على امتداد السطح AD. من ناحية أخرى، الكرة المتحركة على الجانب المكافئ AB ستتمتع بسرعة ابتدائية أقل؛ نظرًا لأن سرعتها الابتدائية تساوي صفرًا.

## (٢٦) هل الطريق الأقصر هو الأسرع؟

المسارات الزمنية الأقصَر موضحة بالشكل. وبالمقارنة بين المسارات الثلاثة، يتبيَّن أن المسار الزمني الأقصر هو في الواقع المسار PB وليس المسار PA أو PC. أغلب الناس يظنون أن أقصر مسار زمني سيكون المسار ذا الخط الأفقي المماسي عند قاع المنحنى. لكن هذا ليس صحيحًا. فإذا كانت إحداثيات النقطة الأخيرة هي $(p, q)$، فسيمر المسار الدويري بهذه النقطة بانحدار لأعلى لو كانت $p/q > p/2$.




كان أول من توصَّل إلى حل هذا المسار، الذي يُطلَق عليه «منحنى أقصر وقت»، هو جون برنولي (١٦٦٧–١٧٤٨م)، لكن المنحنى الذي قدَّم الحل — الدويري — كان معروفًا بالفعل لجاليليو بوصفه المسار الشبيه بالقوس الذي ترسمه نقطة على حافة عجلة متدحرجة. يتسم المسار الدويري بالجمال، وأدَّى إلى العديد من الخلافات في عالم الهندسة لدرجة أنه سمِّي «هيلين الهندسة».

للدويري أيضًا خاصية «تَسَاوِي وقتٍ» مدهشة؛ فالخرزة العديمة الاحتكاك ستصل إلى القاع في الفترة الزمنية عينها بغضِّ النظر عن الموضع الذي تُطلَق منه الخرزة على المنحنى من وضع السكون!

*Hoffman, D. T. "A Cycloid Race."* Physics Teacher *29 (1991): 395.*

## (٢٧) منحنى أقصر وقت غير المقيد

ستفوز البِلْية (ب) بالسباق؛ وذلك بأن تهبط المنخفضات وتصعد المرتفعات. المكوِّن الأفقي للسرعة للبِلية (ب) في أي وقت بعينه يكون دائمًا مساويًا للسرعة الأفقية للبِلية (أ) أو أكبر منها. وتذكَّر أنه ليس بوسع أيٍّ من البِليتين مغادرة مسارها أو الانزلاق.

*Stork, D. G., and J. Yang. "The Unrestrained Brachistochrone."* American Journal of Physics *54 (1986): 992.*

*Zwicker, E. "High Road/Low Road."* Physics Teacher *27 (1989): 293.*

## (٢٨) قصبتان مائلتان*

القصبة العارية ستضرب الأرض أولًا. تَحدَّد وقت السقوط بواسطة التسارع الزاوي، الذي يتناسب طرديًّا مع معدل العزم الناتج عن الجاذبية والزخم القصوري. ويعتمد العزمان كلاهما على توزيع الكتلة.

التسارع الزاوي للقصبة العارية ذات المقطع العرضي المنتظم والكتلة $m$ هو $(3g/2L)\sin\alpha$؛ حيث $L$ طول القصبة و$\alpha$ الزاوية بين العصا والجدار. سنكتشف على الفور أنه قبل أن تضرب القصبة الأرض ($\alpha$ تساوي ٩٠ درجة)، يكون التسارع العمودي لأسفل عند طرف القصبة $(3/2)g$؛ أي أكبر من عجلة الجاذبية $g$.

على سبيل المقارنة، التسارع الزاوي لقصبة ذات جسم نقطي كتلته $M$ مربوط على مسافة $d$ من المحور يكون $a(1+2kq)/(1+3kq^2)$؛ حيث $k = M/m$، و$q = d/L$، و$a = (3g/2L)\sin\alpha$، وهو التسارع الزاوي للقصبة العارية. لهذه النتيجة تبعات عديدة مفاجئة. فحين تكون $q = 2/3$، ومن ثم تضع الكتلة النقطية على ثلثي المسافة من نقطة المحور، سيكون التسارع الزاوي هو نفسه بالنسبة إلى القصبة العارية! وحين تكون $q > 2/3$، ويصير المعامل أقل من ١، يصير زمن السقوط أطول، ويزيد تأثير القصور الدوراني بدرجة أكبر من تأثير العزم كي ينتج لنا النتيجة السابقة. والعكس صحيح حين تكون $q < 2/3$.

*Haber-schaim U. "On Qualitative Problems" (letter).* Physics Teacher *30 (1992): 260.*

*Hewitt, P. G. "Figuring Physics."* Physics Teacher *30 (1992): 126.*

## (٢٩) أسرع من السقوط الحر*

يسقط الكوب بالفعل بعجلة تفوق عجلة الجاذبية؛ أي أسرَع من السقوط الحر. لكن هذه النتيجة لا تخرق سلوك السقوط الحر المتوقَّع؛ لأن المسطرة ليست في حالة سقوط حر. فبالإضافة إلى قوة الجاذبية المؤثرة على المسطرة عند مركز الجاذبية، هناك قوة لأعلى تدعم المسطرة عند نقطة اتصالها بالأرضية. والعزم الإجمالي الناتج عن قوة الجاذبية إضافة إلى قوة الاتصال بالأرضية يمكنه أن يُنتج مكوِّنًا رأسيًّا للتسارع لأسفل أكبر من عجلة الجاذبية $g$ عند نقاط بعينها على امتداد المسطرة. وبفرض أن المسطرة يمكن معاملتها بوصفها قصبة رفيعة منتظمة، نجد أن المكون الرأسي لتسارع الطرف الساقط يكون $3/2g\sin^2\Phi$؛ حيث $\Phi$ الزاوية التي تصنعها المسطرة مع الرأسي. وقيمة التسارع هذه تزيد بزيادة $\Phi$ وستفوق قيمة $g$ حين تكون $\Phi$ حوالي ٣٥ درجة أو أقل.

جرب تنويعات أخرى: ما الذي سيحدث عندما تقلل زاوية البداية أو تضع الكرة والكوب في موضع أقرب إلى الطرف السفلي للمسطرة؟ هل ستتسارع المسطرة بعجلة تفوق عجلة الجاذبية $g$؟

*Edge, R. D.* String and Sticky Tape Experiments. *College Park, Md.: American Association of Physics Teachers, 1987, experiment 1.50.*

*Theron, W. F. D. "The 'Faster than Gravity' Demonstration Revisited."* American Journal of Physics *56 (1988): 736.*

## (٣٠) أسطوانتان متسابقتان*

دع الأسطوانتين تتدحرجان دون انزلاق هابطتين سطحًا مائلًا. في قاع السطح يجب أن يكون إجمالي طاقة الحركة لكل أسطوانة مساويًا لإجمالي طاقة الحركة الخاص بالأخرى، بما أنهما هبطتا من الارتفاع ذاته؛ بمعنى أن التغير في طاقة وضع الجاذبية كان واحدًا بالنسبة إلى كلتيهما. إجمالي طاقة الحركة في القاع (وطوال رحلة الهبوط)

يتكون من جزء انتقالي $(1/2)mv_{\mathrm{cm}}{}^2$، وهو ما يتوافق مع حركة مركز الكتلة، وجزء دوراني $(1/2)I\omega^2$؛ حيث $I$ الزخم القصوري و$\omega = v_{\mathrm{cm}}/R$ هو السرعة الزاوية لأسطوانة نصف قطرها $R$. وبفرض التساوي في طاقتَي الحركة للأسطوانتين، يشير الزخم القصوري الأكبر للأسطوانة المجوفة إلى قيمة $v_{\mathrm{cm}}$ أقل والعكس صحيح. ستتدحرج الأسطوانة المجوفة بسرعة أبطأ طوال رحلة هبوطها.

## (٣١) الاحتكاك المساعد للحركة*

كلَّا، الاستنتاج غير صحيح. ففي حالة اللف من دون انزلاق، تكون نقطة الاتصال بالأرض — ولنُسَمِّهَا $P$ مثلًا — ساكنة لحظيًّا. إذن تدور الأسطوانة حول محور أفقي يمر بالنقطة $P$ في أي لحظة. سنتجاهل الاحتكاك؛ لأن العزم الخاص به حول هذا المحور المار بالنقطة $P$ يساوي صفرًا؛ فلا توجد ذراع رافعة. وباستخدام قانون نيوتن الثاني لحساب العزم حول النقطة $P$، يمكننا أن نحدد أن $2RF = ((MR^2)/2 + MR^2)(a/R)$؛ حيث R نصف القطر و$a$ التسارع الأفقي لمركز الأسطوانة. نتيجة هذه المعادلة هي أن $a = (4/3)(F/M)$. يجب لقوة الاحتكاك الساكن في الاتجاه الأفقي أن تكون $F/3$، وأن تكون في نفس اتجاه القوة المبذولة! يجب أن يدرك المرء أنَّ تدحرُج الأسطوانة يدفع للخلف عن طريق الاحتكاك الساكن؛ ومن ثم تستجيب الأرض بما يتفق وقانون نيوتن الثالث.

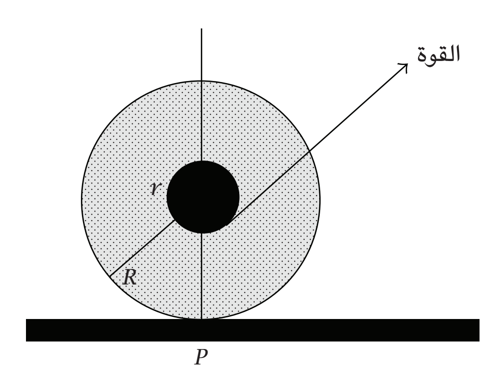
*Relland, R. J. "Two Fundamental Surprises."* Physics Teacher *27 (1989): 326.*

*Sherfinski, J. "Rotational Dynamics: Two Fundamental Issues."* Physics Teacher *26 (1988): 290.*

## (٣٢) ملف الخيوط المطيع*

بالنسبة إلى الأجسام كافة، في حالة اللف من دون انزلاق، تكون نقطة الاتصال بالأرض — ولْنُسَمِّها $P$ مثلًا — ساكنة لحظيًّا. سيمر المحور الأفقي للدوران بالنقطة $P$؛ لذا علينا تدبُّر العزم حول هذا المحور الأفقي. لا يوجد عزم حول هذا المحور متى مرَّ خط قوة الشريط بهذا المحور؛ لأنه لن توجد وقتها أي ذراع رافعة. وبشد الشريط بهذه الزاوية

الحرجة (التي تساوي $r/R$) ينزلق الملف وحسب على السطح. وحين تفُوق زاوية خط القوة هذه الزاوية الحرجة، يكون العزم حول المحور في اتجاه عقارب الساعة، ويلف الملف في اتجاه الراصد. وعلى الجانب المعاكس للزاوية الحرجة، يلف الملف بعيدًا عن الراصد.




## (٣٣) من الفائز؟*

سيتغلب المخروط المصمت على الكرة المصمتة! إن القوة المحدِّدة هي المُعامِل العددي في معادلة الزخم القصوري. وكلما كانت قيمة المعامل للمحور الموازي لمحور الدوران أقل، كان التسارع نزولًا على السطح المائل أكبر. والمعامِلات العددية للزخم القصوري هي: (أ) ١ / ٢ بالنسبة إلى الأسطوانة المصمتة حول محور الأسطوانة، (ب) ٢ / ٥ بالنسبة إلى الكرة المصمتة حول أي قُطر لها. أما بالنسبة إلى المخروط الدائري العمودي فإن القيمة المكافئة هي ٣ / ١٠؛ ومن ثم يربح المخروط المصمت السباقَ. ولجعْل المخروط يتدحرج على نحو مستقيم أثناء الهبوط على السطح المائل، ثبِّتْ به حلقة سلكية عديمة الكتلة تقريبًا قُطْرها مساوٍ لقطر قاعدة المخروط بالقرب من الطرف المستدقِّ للمخروط.

بالمناسبة، هذه الأشكال الثلاثة — الأسطوانة والكرة والمخروط، والأخيران يدخلان على نحوٍ محكَم داخل الأسطوانة — هي الأشكال الثلاثة الموجودة على قبر أرشميدس. وقد كان أرشميدس هو أول من حدد نِسَب الحجم الخاصة بها: ٣:٢:١.

## (٣٤) تحريك الأرجوحة*

إن الآلية الخاصة ببدء تحريك الأرجوحة من السكون مثيرةٌ للاهتمام بشدة. فالطفل يبدأ من موضع توازن. وفي حالة السكون، تكون نقطة الدعم فوق الموضع الذي يُمسك به الطفل بالحبل بيديه وفوق مركز جاذبيته مباشرة. قوة شد الحبل $T$ تكون عمودية ويعادلها وزن الطفل $W$. سنتجاهل هنا وزن المقعد والحبل.

الآن يمكننا أن نرى المعضلة الحقيقية. إن القوتين الخارجيتين الوحيدتين المؤثرتين على الطفل هما قوة شد الحبل ووزن الطفل، بَيْدَ أن مجموعهما صفر. وَفْق قانون نيوتن الأول، ما دامت محصِّلة القوة الخارجية صفرًا، فبغضِّ النظر عما يفعله الطفل فإن مركز جاذبيته سيظل في حالة سكون. فإذا مال الطفل للخلف، فستندفع ساقاه للأمام وللأعلى، وإذا مال الطفل للأمام، فستندفع ساقاه للخلف. يعدِّل مركز الجاذبية من موضعه على نحوٍ متواصل استجابةً لأي تغيرات في وضعية الجسد، وذلك «نسبةً إلى الجسد».

نحن بحاجة إلى طريقة لإنتاج عزمٍ صافٍ حول المحور الأفقي المار بنقاط الدعم مع الإطار. ستشير قوة شد الحبل على الدوام ناحية محوره؛ لذا لن يكون بوسع قوة الشد مطلقًا أن تنتج هذا العزم. لكن من الممكن إزاحة خط قوةٍ متَّجِه الوزن–العمودي من محور الدوران بحيث توجد ذراع رافعة. ما على الطفل أن يفعله ببساطة هو أن يعطي الحبل دفعة مفاجئة للخلف بذراعيه، مع الحفاظ على بقية الجسد في وضعية ثابتة. وفق قانون نيوتن الثالث، سيتحرك جسد الطفل إلى الأمام قليلًا، ووقتها فإن العزم الصغير في اتجاه عقارب الساعة حول محور الدعم سيبدأ الحركة للخلف.

للبدء من السكون في وضعية الجلوس، يميل الطفل للخلف فجأةً لاكتساب عزم زاويٍّ حول مركز الكتلة، لكن في غياب أي عزوم خارجية حول محور الارتكاز الخاص بالأرجوحة، يُزاح مركز الكتلة من موضعه المبدئي كي يبدأ حركة الأرجوحة. لمعرفة الطرق الأخرى انظر المراجع.

*Curry, S. M. "How Children Swing."* American Journal of Physics *44 (1976): 924.*

*Gore, B. F. "The Child's Swing."* American Journal of Physics *38 (1970): 378.*

## (٣٥) تحريك الأرجوحة في وضعية الوقوف*

يستطيع الطفل الواقف على الأرجوحة تحريكها بعدة طرق مختلفة. الأمر المشترك بين هذه الطرق هو أن الطفل يَثني ركبتيه عند نهاية كل أرجَحَةٍ إلى الخلف أو الأمام (أو حتى عند كليهما)، بينما يفرد ركبتيه في منتصف الأرجحة إلى الخلف أو الأمام أو كليهما. يتمثل تأثير حركة فرد وثني الركبتين هذه في رفع مركز جاذبية الطفل في منتصف الأرجحة وخفضه عند نهاية كل دورة أرجحة.

لرفع مركز جاذبيته في منتصف الأرجحة، يبذل الطفل شغلًا بطريقتين: (١) زيادة طاقة وضع الجاذبية الخاصة به، و(٢) زيادة طاقة الحركة الخاصة به.

تزداد طاقة الحركة؛ لأن الزخم الزاوي حول المحور الأفقي للدعم لا يتغير في اللحظة التي يكون فيها مركز الجاذبية مرفوعًا. والعزم الناتج عن القوة التي يمر خطُّها بمحور الدعم يساوي صفرًا. الزخم الزاوي هو الناتج $MVL$؛ حيث $M$ كتلة الطفل، و$V$ سرعته، و$L$ المسافة بين مركز الجاذبية والمحور. حين تُجعل $L$ أقصر، لا بد أن تزداد السرعة $V$ حتى يظل الناتج $MVL$ ثابتًا.

بينما تزداد السرعة $V$، تزداد بالمثل طاقة حركة الطفل $(1/2)MV^2$. وهذا الموقف شبيه بفعل الراقصة على الجليد التي تضم ذراعيها إلى جانبيها؛ كي تزيد من سرعة دورانها حول نفسها.

حين يخفض الطفل مركز جاذبيته عند نهاية كل أرجحة، تقل طاقة الوضع الخاصة به. لا يوجد تغير في طاقة الحركة؛ لأنه يكون وقتها في حالة سكون لحظي. يكون موضع مركز الجاذبية الخاص بالطفل وقتها على امتداد القوس نفسه كما كان في البداية، بيد أنه مائل بزاوية أكبر، مستعدًّا لبدء التتابع من جديد. وعلى مدار دورة الأرجَحَة كان هناك مكسب صافٍ في الطاقة، التي زادت من سعة الأرجحة، وهذه الطاقة نُقِلَت من الطفل إلى الأرجوحة من خلال عضلاته.

*Tea, P. L. Jr., and H. Falk. "Pumping on a Swing."* American Journal of Physics *36 (1968): 1165.*

## (٣٦) تحريك الأرجوحة في وضعية الجلوس*

الجواب هو: نعم. في وضعية الوقوف، من شأن ثَنْي وفرد ركبتيك في اللحظات الملائمة أن يدفع الأرجوحة إلى مستويات شدة أكبر. أما في وضعية الجلوس، فلن تتأثر حركة مركز الجاذبية تقريبًا. وهنا يكون على الطفل أن يفعل شيئًا مثيرًا للاهتمام. فعند نهاية الأرجحة إلى الخلف وبداية الأرجحة إلى الأمام يؤرجح الطفل ساقَيْه؛ وبذا يدير جسده في عكس اتجاه عقارب الساعة. بطبيعة الحال لا يمكن أن يستمر دورانه؛ لأنه سيسقط عن مقعده؛ لذا هو يُوقِف الدوران بأن يشد الحبل.

*Curry, S. M. "How Children Swing."* American Journal of Physics *44 (1976): 924.*

## (٣٧) العجلة الدوَّارة*

الجواب هو: لا. فمن قبيل المفارقة، ما على الشخص عمله هو أن يدفع بيده اليمنى لأعلى، وبيده اليسرى «لأسفل»!

بادئ ذي بدء، سنستعرض الحُجَّة دون استخدام العزم. تدبَّرْ حالة الحركة الخاصة بأربعة عناصر للكتلة في الإطار. العنصر الموجود في القمة متجهُ السرعةِ الخاصُّ به أفقيٌّ ويتجه مباشرةً بعيدًا عن الشخص؛ لذا من المطلوب عمل تغيُّر صغير في السرعة؛ من أجل تحقيق الدوران المقترَح لسطح العجلة. العنصر الموجود في القاع متجهُ السرعةِ الخاصُّ به أفقيٌّ ويتجه مباشرةً نحو بطن الشخص، وهو ما يتطلَّب تغيرًا إلى اليمين. العنصران الموجودان في المقدمة والمؤخرة لهما متَّجهَا سرعة رأسيان، لأسفل ولأعلى، وهو ما يتطلَّب عدم إحداث أي تغيير على الإطلاق من أجل تحقيق التغير المنشود في اتجاه العجلة.

يمكن التوسع في الحجَّة بسهولة، عن طريق أخذ مركبَي السرعة الأفقي والرأسي؛ لبيان أن كل عناصر الكتلة في النصف الأعلى من العجلة تحتاج تغيرًا في السرعة إلى اليسار، بينما كل العناصر الموجودة في الأسفل تحتاج تغيرًا في السرعة إلى اليمين.

بما أن السبيل الوحيد لتغيير سرعة أي عنصر كتلة في أي اتجاه بعينه هو بَذْل محصلة قُوى في هذا الاتجاه، يجب على الشخص أن يعمل عبر جذع العجلة والمحامل والمحور والبرامق عن طريق الضغط لأعلى بيده اليمنى ولأسفل بيده اليسرى. ومن دون استخدام العزوم، اكتشفنا السلوك «الجانبي» العجيب للقوة الجيروسكوبية؛ فمن أجل

إحداث تأثير في أحد الأسطح، على المرء بَذْل قوى على السطح بزاوية عمودية على السطح الأول.

الآن جاء دور التفسير القائم على العزم. في البداية، العجلة الدوارة لها متجه الزخم الزاوي الأفقي الخاص بها، الذي نختار أن نحاذيه بالمحور السيني. ومن شأن الدفع للأمام باليد اليمنى والشد للخلف باليد اليسرى أن يقلِّل هذا المركب السيني للزخم الزاوي ويزيد المركب الصادي. لكن العزم المبذول هو في حقيقة الأمر مبذول حول المحور العيني! لذا ما يحدث فعلًا هو أن المحور يميل للأسفل كي يزيد المركب العيني بدلًا من أن يتبع المسار المنشود. ولزيادة المركب الصادي للزخم الزاوي، علينا بَذْل عزم صافٍ حول المحور الصادي؛ بمعنى الدفع لأعلى باليد اليمنى ولأسفل باليد اليسرى!

## (٣٨) الاصطدام بجدار مصمَت*

حتى إن كان التصادم مَرِنًا، يجب أن ترتد الكرة عن الجدار بسرعة تقلُّ قليلًا عن سرعة اصطدامها به. ومن ثم فإن التصادم المرِن ما هو إلا تقريبٌ جيدٌ للحالة المثالية التي فيها يتمتع الجسم بطاقة الحركة ذاتها قبل التصادم وبعده. وهذا التأثير معروف جيدًا في حالة جزيئات الغاز التي تضرب المكبس المثالي القابل للتحرك، وبهذا تَبْذل شغلًا خلال تمدُّد الغاز المثالي.

زخم الجدار + الأرض، $P = MV$، هو كمية محددة تساوي $2mv$. يمكن التعبير عن طاقة الحركة الخاصة بالجدار + الأرض على النحو التالي: $K = (1/2)MV^2 = P^2/2M$. لو لم تكن $P$ لا نهائية، وصارت $M$، التي هي الكتلة المجمعة للجدار والأرض، كبيرة للغاية، فستقترب طاقة الحركة من الصفر. هذه النتيجة تبين أن الجسم المصمت قد يكون له زخم قابل للملاحظة وفي الوقت ذاته يملك طاقة حركة تساوي الصفر فعليًّا.

وقد يرغب المرء في تقدير مقدار طاقة الحركة الابتدائية التي أنتجت طاقة حرارية وصوتية خلال التصادم.

*Macomber, H. K. "Massive Walls and the Conservation Laws: A Paradox."* Physics Teacher *13 (1975): 28.*

## (٣٩) لعبة المديرين: كرات نيوتن*

هذه الكرات تجسِّد مبدأَيْ حفظ الطاقة وحفظ الزخم. إذا فرضنا أن كرتين من الطرف الأيمن تُركتا من السكون على ارتفاع $h$ وضَربتا الكرات الأخرى بالسرعة $v$، إذن سيكون الزخم الإجمالي قُبيل التصادم مباشرةً $2mv$. بعد التصادم تكون الكرات الثلاث عند الطرف الأيمن ساكنة، وتتحرك الكرتان عند الطرف الأيسر بعيدًا بالسرعة $v$ وبزخم إجمالي قدره $2mv$، وهو ما يساوي تمامًا الزخم الإجمالي قُبيل التصادم مباشرة.

الطاقة أيضًا تظل محفوظة؛ فطاقة الحركة الإجمالية بعد التصادم مباشرة هي $(1/2)mv^2 + (1/2)mv^2 = mv^2$، وهو نفس مقدار طاقة الحركة قُبيل التصادم المبدئي مباشرة. لماذا لم تندفع كرة واحدة إلى الخارج بسرعة مقدارها $2v$؟ ومن الممكن أن يكون الزخم النهائي $2mv$. هذا أمر طيب، لكن في هذه الحالة ستكون طاقة الحركة النهائية $(1/2)m(2v)^2 = 2mv^2$.

ثمة مفهوم شائع يقضي بأن مبدأَيْ حفظ الزخم الخطِّي وحفظ الطاقة يكفيان للتنبؤ بسلوك الكرات. بَيْدَ أن قانونَيِ الحفظ لا يقدمان سوى معادلتين فقط من أجل السرعات النهائية المجهولة. وحتى لو استُخدمت ثلاث كرات فقط، فسيكون لدينا معادلتان في ثلاثة مجاهيل! وللحصول على حل، نحتاج إلى مبدأ استرشادي آخر. يمكننا أن نختار تدبر اصطدام الجسمين فقط؛ بحيث إنه على امتداد صف الكرات، إذا ضَرَبت كرة من اليمين جارتها الساكنة بالسرعة $v$، تصير الكرة الأولى في موضع سكون وتبدأ الكرة المجاورة لها في التحرك بالسرعة $v$. ويُنقَل الزخم على امتداد الصف بهذه الطريقة. في هذا النموذج المثالي، نعتبر أن الطاقة كلها والزخم كله متركزان في نقاط التواصل بين الكرات المتلاصقة. لكن في الواقع، ينتقل قدر من الطاقة لمواضع أخرى في الكرة، والهيكل الداعم، والبيئة المحيطة.

من الممكن التوصل إلى حلول مسائل أكثر صعوبة. على سبيل المثال، تضرب كرة من أحد الطرفين لها كتلة مقدارها $2m$ ثلاث كرات مصطفَّة لكلٍّ منها كتلة مقدارها $m$. بُعَيْدَ التصادم مباشرة، تتحرك الكرة ذات الكتلة $2m$ بسرعة مقدارها $v/3$، والكرة الأولى، ذات الكتلة $m$، تتحرك بالسرعة $4v/3$. من الممكن عمل مثل هذه الحسابات لكل تصادم على امتداد صف الكرات، وبهذا ستُحَل المسألة بالكامل.

*Bose, S. K. "Remarks on a Well-Known Collision Experiment."* American Journal of Physics *54 (1986): 660.*

*Flansburg, L., and K. Hudnut. "Dynamic Solutions for Linear Elastic Collisions."* American Journal of Physics 47 *(1979): 911.*

*Herrmann, F, and M. Seitz. "How Does the Ball-Chain Work?"* American Journal of Physics *50 (1982): 977.*

## (٤٠) المطرقة*

عند غرس وَتد في الأرض، فإن ما نرغب فيه هو تعظيم طاقة الحركة الخاصة بالوتد والمنتَجة بواسطة ضربة المطرقة. أما عند تشكيل قطعة معدن فإننا نريد تقليل طاقة الحركة الخاصة بالسندان والمطرقة إلى حدِّها الأدنى بعد التصادم، بحيث يصير المقدار الأقصى من الطاقة في ضربة المطرقة متاحًا من أجل تغيير شكل قطعة المعدن. وكِلَا الموقفين يقفان على طَرَفَي النقيض.

تدبَّرْ أولًا التصادم غير المرِن بالمرة؛ ذلك التصادم الذي يحدث دون أي ارتداد. هذا النوع من التصادم هو الأنسب لعملية تشكيل المعادن؛ لأن المطرقة ستصير في حالة سكون على السندان الحامل لقطعة المعدن.

طاقة الحركة الابتدائية للمطرقة المتحرِّكة هي $(1/2)M_1v_1{}^2$، وطاقة الحركة الإجمالية للجسمين المتصادمين بُعَيدَ التصادم مباشرة هي $(1/2)(M_1 + M_2)v^2$؛ حيث $M_2$ كتلة السندان (إضافة إلى قطعة المعدن). وبأخذ الاختلاف في طاقة الحركة بعد التصادم وقبله وتطبيق مبدأ حفظ الزخم، نخلُص إلى أن مقدار طاقة الحركة الابتدائية المتاح الآن من أجل تشكيل قطعة المعدن يتناسب طرديًّا مع النسبة $M_2/(M_1 + M_2)$. ومن الواضح أنه من أجل جعْل هذا المقدار قريبًا من الواحد الصحيح، ينبغي أن تكون كتلة السندان $M_2$ أكبر بكثير من كتلة المطرقة. على أرض الواقع، أغلب طاقة السندان هذه تصير طاقة حرارية خلال عملية التصادم!

عند غرس الوتد نريد تعظيم طاقة الحركة الخاصة بالوتد خلال عملية التصادم، وهو ما يعني أن علينا تعظيمَ كتلة المطرقة $M_1$ إلى الحد الأقصى مقارنةً بكتلة الوتد $M_2$. النسبة المذكورة أعلاه تنطبق فقط على التصادم الذي تتحرك فيه المطرقة والوتد معًا — أي التصادم غير المرِن بالمرة — بيد أنها تمنحنا تنبؤًا صحيحًا في حالتنا هذه؛ إذ يجب جعل كتلة المطرقة كبيرة بقدر الإمكان.

ولعمل ما هو أفضل من هذا، تدبَّرِ التصادم المرِن المثالي. في هذا التصادم كل طاقة الحركة الخاصة بالمطرقة تُنقَل إلى الوتد المتحرك، ويجب أن يبذل احتكاك الأرض المزيد من الشغل كي يعيد الوتد المتحرك بسرعة إلى وضع السكون. ومن ثم يخترق الوتد إلى عمق أكبر. في الحالة العامة، تعتمد طاقة الحركة المنقولة إلى الوتد على نسبة الكتلة المذكورة أعلاه مضروبة في $e^2$؛ حيث $e$ مُعامل الاسترجاع (بحيث إن $e$ تساوي ١ في حالة التصادم المرِن، وتساوي صفرًا في حالة التصادم غير المرِن بالمرة).

*Hartog, J. P. D.* Mechanics. *New York: Dover Publications, 1961, pp. 291–292.*

*Miller, J. S. "Observations on a Pile Driver."* American Journal of Physics *22 (1954): 409.*

## (٤١) زيادة السرعة*

سنفترض أن كتلة الكرة الصغرى كتلةٌ مهملة مقارنةً بكتلة الكرة الأكبر، وأن التصادمين مرِنَان؛ تصادم الكرة بالكرة والكرة بالأرض. يمكننا محاكاة هذه الظروف المثالية عن طريق استخدام كرتين مطاطيتين مختلفتَي الحجم. خلال التصادم المرِن مع الأرض، ترتد الكرة السفلى — الأكبر — وتبدأ في الحركة لأعلى وستغادر الأرض بسرعة قيمتها $v$، وهي نفس السرعة التي كانت عليها قُبيل التصادم مباشرة. في الوقت ذاته، تكون الكرة العليا على وشْك التصادم مع الكرة السفلى. من منظور الكرة الكبيرة، تقترب الكرة الصغيرة من الكرة الكبيرة بالسرعة $2v$ (سرعة الكرة الصغيرة إضافة إلى سرعة الكرة الكبيرة). وحين تضرب الكرة الصغيرة الكرة الكبيرة، فإنها ترتد عنها بسرعة $2v$ لأعلى نسبة إلى الكرة الكبيرة. لكن ينبغي ألا ننسى أن الكرة الكبيرة تتحرك فعليًّا لأعلى بالسرعة $v$؛ لذا فإن الكرة الصغيرة تتحرك مبدئيًّا لأعلى بسرعة مقدارها $3v$ نسبة إلى الأرض قُبيل التصادم مباشرة. الارتفاع المكتسب يكون مقداره مربعَ مكونِ السرعةِ الابتدائية لأعلى؛ وبذا فإن الكرة الصغيرة الأسرع بثلاث مرات يصير ارتفاعها أعلى بتسعِ مرات مقارنةً بالارتفاع الابتدائي! في الحالات الأكثر واقعية، التي لا تكون فيها التصادمات مرِنة بالكامل مطلقًا، يمكن للكرة الصغيرة أن ترتد أربعة أضعاف ارتفاعها الابتدائي فوق الأرض. في حالة استخدام ثلاث كرات أو أكثر، تصير التأثيرات أكثر إثارةً.

فعند إلقاء مجموعة من ثلاث كرات تكون فيها الكرة الصغرى في الأعلى، تستطيع الكرة الصغيرة نظريًّا أن تبلغ ارتفاعًا أقصى مقداره تسعٌ وأربعون مرة قدْر الارتفاع وقت إسقاطها. وهنا يتضح أن نسبة الارتفاع المثالية (الارتفاع النهائي المتحقق مقسومًا على ارتفاع الإسقاط الابتدائي) تكون $(2^N - 1)^2$؛ حيث $N$ عدد الكرات. هذه النسبة تزيد بسرعة كبيرة مع $N$، لدرجة أنه بإمكان المرء أن يُوصل كرة إلى القمر عن طريق إسقاط مجموعة من خمس عشرة كرة متصلة من ارتفاع متر واحد فقط! كم سيكون الأمر رائعًا لو أن الطبيعة تعاونت معنا وأطاعت الحالة المثالية بشكل دقيق!

*Carpenter D. R. Jr.; D. J. Rehbein; and J. J. Barometti. "Ban™ Deodorant Ball Mortar."* Physics Teacher *26 (1988): 522.*

*Harter, W. G., Class of. "Velocity Amplification in Collision Experiments including Superballs."* American Journal of Physics 39 *(1971): 656.*

*Spradley, J. L. "Velocity Amplification in Vertical Collisions."* American Journal of Physics *55 (1987): 183.*

*Stroink, G. "Superball Problem."* Physics Teacher *21 (1983): 466.*

## (٤٢) ارتداد الكرة المطاطية المرنة*

سيجيب العديد من الفيزيائيين قائلين: «لا بد أن تبدأ الكرة بدوران خلفي.» وهذا غير صحيح. تدبَّرْ أولًا مثالًا أبسط. دَعْ كرة مطاطية مرنة تقترب من الأرض بسرعة للأمام ودون أي دوران. بعد الارتداد عن الأرض، ستظل الكرة تتحرَّك إلى الأمام، لكن على نحوٍ أبطأ. ما اتجاه الدوران؟ سيكون للكرة دوران علوي، بحيث يدور أعلى الكرة نحو الاتجاه الأمامي.

المشكلة الأصلية التي بين أيدينا تمثِّل موقفًا معكوسًا زمنيًّا لهذا المثال. تطيع قوانين نيوتن الثبات المعكوس زمنيًّا، لكننا بحاجة إلى تجاهل إنتاج الحرارة والاهتزازات الداخلية للكرة وما إلى ذلك من أمور. عندها سنرى أن الكرة في المشكلة الأصلية لا بد من أن تمتلك دورانًا ابتدائيًّا علويًّا كي تصل إلى حالة نهائية بعد الارتداد، ليس فيها دوران، وتكون السرعة فيها للأمام.

يتطلَّب الحل التفصيلي تطبيق مبدأَيْ حفظ الطاقة وحفظ الزخم الخطي والزاوي. وحل المشكلة الأصلية يستلزم ألا يُنتج اتجاهُ زخم الكرة المرنة خلال التصادم مع الأرض

عزمًا دورانيًّا علويًّا؛ بمعنى أن اتجاه متجه الزخم يكون على الجانب الملائم لمحور الدوران خلال الاتصال، وهو شرط تَضْمنه ديناميكيات التصادم الفائق المرونة.

يمكننا بعد ذلك التقدم وبيان أنه بعد التصادم الثاني تكون الكرة المرنة الآن في نفس الحالة الابتدائية التي كانت عليها!

*Bridges, R. "The Spin of a Bouncing Superball."* Physics Education *26 (1991): 350–354.*

*Crawford, F. S. "Superball and Time-Reversal Invariance."* American Journal of Physics *50 (1982): 856.*

*Garwin, R. L. "Kinematics of the Ultraelastic Rough Ball."* American Journal of Physics *37 (1969): 88.*

## (٤٣) البندول الحلقي*

ما دامت المقاطع في البندول متناظرة، فستظل الفترات الخاصة بالأجسام الباقية كما هي دون تغيير! ثمة مفاجأة إضافية؛ وهي أنه حتى إذا قُطع الطوق كله على نحو متناظر، بحيث لم يتبقَّ سوى قطعة صغيرة للغاية، فلن تتغير الفترات. سنحتاج إلى أن نبيِّن رياضيًّا أن العزم المستعيد والزخم القصوري لهما نفس الاعتماد على المسافة من محور الدوران؛ بحيث إن أي تغيُّر في إحدى الكميتين يؤدِّي إلى تغيُّر في الكمية الأخرى.

## (٤٤) بندول عجيب*

سيزيد مدى أرجحة البندول الحلقي بسرعة؛ لأن هذه المنظومة تسلك سلوكَ هزَّاز بارامتري. يكون الرنين البارامتري في أقوى صوره حين يكون تردُّد المُعامل المتغير مع الوقت — أي موضع الدعم — ضعفَ التردد الطبيعي للمنظومة المتحركة. يعني هذا أنَّ نَقْل الطاقة يكون في أفضل صوره عند $2f_0$، ويكون أقل بكثير عند الترددات الأخرى $2f_0/n$؛ حيث $n$ عدد صحيح.

بالنسبة إلى البندول البسيط ذي السلوك المتناظر على كِلَا جانبَيِ الخط العمودي المار بنقطة الدعم، يمكننا ملاحظة أن أي منظومة نقل كفء للطاقة توجد على الجانب الأيسر للحركة يجب أيضًا أن توجد على الجانب الأيمن. في الواقع، في هذا المثال البارامتري

وفي حالة المثال المألوف الخاص بالطفل على الأرجوحة، يكون ضخ الطاقة عند $2f_0$ أمرًا كفئًا بدرجة كبيرة. وإذا وقف الأب والأم كلٌّ عند أحد طرفَيْ قوس الأرجحة فسيكون بمقدورهما زيادة مدى الأرجحة بدرجة كبيرة من خلال دفع الطفل، وهو ما سيسعده كثيرًا بالتأكيد!

*Landau, L. D., and E. M. Lifshitz.* Mechanics. *Reading, Mass.: Addison-Wesley, 1969, pp. 80-84.*

الفصل الثامن

# الهياكل الداعمة

## (١) عارضة على شكل حرف I

خُذْ عارضة خشبية وادعم كِلَا طرفيها. إذا علقت بعض الأشياء على امتداد طول العارضة، فستنثني العارضة كي تدعم الحِمل. ستنضغط الطبقات العليا من العارضة حتى طول أقصر قليلًا، بينما ستستطيل الطبقات السفلى بفعل قوة الشد. وفي المنتصف ستكون هناك طبقة خشبية محايدة ستظل بنفس طولها، ومصدر نفعها الوحيد هو أنها تصل الجزء العلوي بالجزء السفلي معًا.

الصلب أغلى من الخشب، وأشد كثافةً. عند صنع العوارض من الصلب، يجب وضع الجزء الأكبر من المادة في المواضع الأكثر نفعًا؛ بمعنى أنه ينبغي أن يكون هناك مقدار قليل من الصلب في المنتصف، قُرب الطبقة المحايدة.

## (٢) أنبوب الألومنيوم

القصبة المصمَتة أصعب كثيرًا في ثَنْيِها بسبب وجود قدر أكبر من المادة التي يجب استطالتها عند موضع الانثناء. بتعبير أوضح: تتطلَّب القصبة طاقةً أكبر من أجل إحداث نفس مقدار الانثناء الذي نُحدثه في الأنبوب، وهذا راجع إلى وجود المزيد من الذرات بها.

## (٣) بكرتان

عند دوران البكرتين في اتجاه عقارب الساعة، سيلف السير نفسه حول جزء أكبر من محيط البكرة، وهو ما يزيد من الاتصال بينهما؛ ومن ثم يزيد مقدار الطاقة المنقولة.

## (٤) الضغط والشد

الضغط في الأعمدة يُنتَج بواسطة قوة الشد الموجودة في الأسلاك. لا تستطيع الأسلاك تحمُّل الضغط لكنها تتسم بالقوة الشديدة تحت الاستطالة. وإجمالًا، القوى المؤثرة في جميع الاتجاهات عند أي نقطة تكون محصِّلتها صفرًا؛ لأن البناء الثابت لا يتسارع (وفق قانون نيوتن الثاني).

من الممكن رؤية هياكل مشيَّدة وفق مبدأ الضغط والشد في بعض متاحف الفن، وذلك في حدائقها الفنية الموجودة بالخارج؛ حيث شُيِّدت أبراج يزيد ارتفاعها عن ٢٠ مترًا وَفق هذا المبدأ. وبمقدورك تشييد هيكل كهذا طوله أقل من المتر الواحد من خلال البدء بصندوق من الورق المقوَّى به ثقوب محفورة في المواضع الملائمة كي تساعد مؤقتًا في دعم الأعمدة والأسلاك. ويمكنك بعد ذلك قص الصندوق كي يبدوَ المنتج النهائي واضحًا.

## (٥) السحق العمودي

شأن كل المواد، تتسم قوالب الطوب بالمرونة حتى مدًى معيَّن عند التعرض لمقدار صغير من الضغط. أيضًا، المِلاطُ الموجود بين صفوف قوالب الطوب ويعمل على نقل الحِمل من الأعلى إلى صفٍّ قوالب الطوب الأدنى منه قابلٌ للانضغاط هو الآخر. ومع ذلك، يميل المِلاط الموجود في أحد جانبَي المبنى إلى الانضغاط بدرجة أكبر من الملاط الموجود في الجانب المقابل؛ ومن ثم تنشأ مشكلة تتعلَّق بالثبات وتُواصل الازدياد مع مرور الوقت.

ثمة تأثيرات أخرى يمكن للعين المدرَّبة رؤيتها. على سبيل المثال، عند الفحص الدقيق للعديد من المباني، يمكنك تبيُّن وجود المزيد من الشقوق عند جانب المبنى المعرَّض للشمس مقارنةً بالجانب الموجود في الظل، وهذا لأن المبنى يتمدَّد وينكمش بدرجات متفاوتة مع تغيُّر درجات الحرارة. والمواضع ذات القوالب المتشققة تكون أضعف إجمالًا.

*Gordon, J. E.* Structures, or Why Things Don't Fall Down. *New York: Da Capo Press, 1978, pp. 172–173.*

## (٦) قارب في قناة مرتفعة

الجواب هو: لا. فوزن الماء المُزاح (وفق مبدأ أرشميدس) يعادل وزن القارب؛ وبذا يتحرك هذا الماء المُزاح نحو منبع القناة ومصبِّها. سيحتاج المهندس فقط إلى أن يضع في حسبانه وزن الماء على الجِسر في حالة عدم وجود أي قارب.

## (٧) طاقة مضاعفة

رغم أن المادة المصنوع منها الخَيطان واحدةٌ، ومن ثم فإن نسبة القوة/الطول الخاصة لها القيمة عينها، فإن قطعة الخيط الأطول تتطلَّب نحو ضِعف مقدار الطاقة كي تنقطع مقارنةً بقطعة الخيط الأقصر. لماذا؟ بسبب وجود ضِعف عدد الروابط الذرية التي يجب «استطالتها». ومن ثم، إذا انقطع أيٌّ من الخيطين، فمن المؤكد أن ينقطع الخيط الأقصر أولًا. وهنا يقال إن الخيط الأطول أكثر رجوعيةً.

بالمناسبة، قد ترغب في تدبُّر الكيفية التي يستطيع بها صياد أن يُمسك بسمكة وزنها ٥٠ رطلًا بخيط صيد وزنه عشرة أرطال!

*Gordon, J. E.* Structures, or Why Things Don't Fall Down. *New York: Da Capo Press, 1978, pp. 89–90, 139–140.*

## (٨) مرساة القارب

على امتداد طول السلسلة هناك حدٌّ أقصى للقوة التي تستطيع السلسلة تحمُّلها دون أن تنقطع. وإذا جُذبت السلسلة على نحو مفاجئ، تُضاف كتلتها إلى كتلة المرساة، وتصير فرص تجاوز هذا الحد الأقصى للقوة أعلى. ولهذا، يجذب البحارة المدَرَّبون سلسلة المرساة برِفق عند رفع المرساة.

## (٩) مسماران مُلَولَبان

سيظل رأسَا المسمارين على المسافة ذاتها، ولا يهم أيُّ المسمارين هو المثبَّت.

فما دامت أسنانُ المسمارين معشَّقة، تصير الحركة في اتجاه عقارب الساعة للمسمار (ب) حول المسمار (أ) — عند النظر إليها من طرف رأس المسمار — هي نفسها الحركة

في عكس اتجاه عقارب الساعة للمسمار (أ) حول المسمار (ب). وبينما يتحرَّك المسمار (ب) صعودًا عبر أسنان المسمار (أ)، يتحرك المسمار (أ) هبوطًا عبر أسنان المسمار (ب) مبتعدًا عن رأس المسمار (ب). وبهذا تُلغي حركتا المسمارين إحداهما الأخرى (إذا لم يكن لديك مسماران متماثلان، يمكنك استيعاب المسألة إذا استخدمتَ إصبعًا من كل يد من يديك).

## (١٠) تفرُّع الأشجار

ستوضح بضعة تقديرات حسابية السبب وراء انتشار نمط تفرُّع الأشجار في العالم الحي. حدِّد المسافة بين كل نقطتين متجاورتين في الشكلين المُعطَيَين بحيث تساوي وحدة مسافة واحدة. عندئذٍ سيساوي الطول الإجمالي لكل المسارات، وكلها تبدأ في المركز وتنتهي عند نقطة محدَّدة (ورقة شجر)، تسعون وحدة في نمط التفرع (أ)، و٢٣٣٫١ وحدة في النمط الانفجاري (ب). إلا أن الطول المتوسط للمسار سيكون ٣٫٦٧ وحدات في (أ) و٣٫٣٧ وحدات في (ب). إذن رغم أن الطول المتوسط للمسار سيكون أطول قليلًا في الشكل (أ)، فإن نمط التفرُّع (أ) له طول إجمالي أقصر بكثير من النمط الانفجاري في الشكل (ب). وعند الوضع في الحسبان اعتبارات الطاقة، سيفوز نمط التفرع بسهولة. وبناءً عليه، نجد أن فروع الأشجار، والأوعية الدموية، والأنهار، بل وحتى طرق مترو الأنفاق كلها، أمثلة على أنماط التفرع.

## (١١) رياح الأعاصير

الجواب هو: لا. فالرياح البالغة سرعتها ١٢٠ ميلًا في الساعة قوتها تعادل أربعة أضعاف قوة الرياح البالغة سرعتها ٦٠ ميلًا في الساعة. تتغيَّر قوة الرياح بالتناسب مع مربع سرعة الرياح؛ لأن كلًّا من كتلة الهواء الذي يضرب المنزل والسرعة التي يَضْرب بها تكونان أكبر. ومضاعفة سرعة الرياح تضاعف الكتلة لكل ثانية على سرعة مضاعفة؛ أي أربعة أضعاف الزخم الذي يُضرَب به المنزل كل ثانية.

ومع ذلك، في حالة الرياح على السرعات المنخفضة، يمكن أن يكون التحليل مختلفًا بدرجة كبيرة؛ اعتمادًا على ما إذا كان هناك تدفُّق صفائحي حول المبنى، أو إذا ما كانت هناك أي جيوب من الاضطراب الهوائي. في بعض الحالات يجب اعتبار تدفُّق الهواء

بوصفه وحدة واحدة على المستوى الكبير بدلًا من استخدام النظرة الجزيئية من أجل الوصول إلى اتفاق مع البيانات التجريبية.

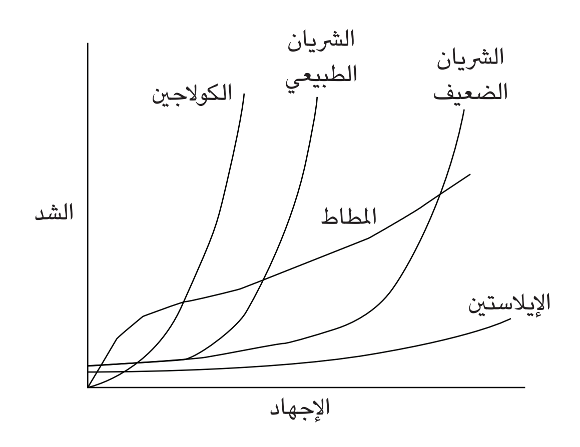
*Epstein, L. “Wind Force and Wind Speed.”* Physics Teacher *29 (1991): 196–197.*

## (١٢) مهندس مدني

المهندس المدني محقٌّ؛ فالمنازل تُبنى بغرض استيفاء معيار الصلابة، لا قوة التحمل؛ لأن هذا الهدف أرخص وأيسر. فيجب أن يظل الشكل الهيكلي ثابتًا؛ بمعنى أن يكون صلبًا. إن المنازل لا تحمل أي حمولات ضخمة؛ لذا فإن قوة تحمُّل الجدران والأرضية ليست محلَّ اهتمامٍ كبيرٍ ما دامت تفي بمعايير قانون البناء، ما لم تتطلَّب ظروفٌ خاصةٌ ذلك على غرار وضع فراش مائي أو حمولة ثقيلة في منتصف حجرة بالطابق الثاني. وإذا حدث أن وقف كل المدعُوين في منتصف مساحة كبيرة بطابق علوي وبدءوا في التقافز ... فلك أن تخمِّن ما قد يحدث!

## (١٣) صلابة الشرايين

ألقِ نظرة مقرَّبة على الرسم البياني الذي يوضِّح استجابة العديد من المواد المختلفة للقوة المؤثرة عليها. هل ترى كيف أن زيادة القوة المؤثرة على المطاط والكولاجين والإيلاستين — والنوعان الأخيران هما أنسجة في جدران الشرايين — تؤدي إلى استطالة هذه المواد؟ الآن تدبَّرْ قضية استطالة نسيج الشرايين. لاحِظْ كيف أن زيادة القوة المؤثِّرة تؤدي إلى استطالة بسيطة للغاية في البداية، ثم إلى استطالة كبيرة مفاجئة عند تخطِّي القوة المؤثِّرة عتبة شدة بعينها.




لو كانت جدران الشرايين أقل صلابة مما هي عليه، لانتفخت للخارج كلما ارتفع ضغط الدم خلال نبض القلب. هذه الحالة الطبية — المعروفة باسم «أم الدَّم» — حالة شاذة، وقد تُفضي إلى تمزُّق في الشريان. في الشريان الصحيح، هناك مقدار بسيط من «المرونة» في جدار الشريان كي يلطِّف من حدَّة بعض تقلُّبات ضغط الدم.

*Gordon, J. E.* Structures, or Why Things Don't Fall Down. *New York: Da Capo Press, 1978, pp. 155–162.*

## (١٤) قوس الرماية

في حالة الإطلاق الطبيعية لسهم من القوس، أغلب الطاقة في منظومة القوس/السهم تُكرَّس للاندفاع المبدئي للسهم (بمعنى، التسارع إلى أن يفقد السهمُ اتصاله بوتر القوس). ويجب على القوس ألَّا يشتِّت سوى مقدار ضئيل للغاية من الطاقة المتبقية. لكن في حالة عدم وجود السهم في موضعه، يجب أن تتحرَّر الطاقة كلها بواسطة القوس، وهذا قد يؤدي إلى أن يدمر القوس ذاته!

## (١٥) لغز النقانق

سيحدث الانفجار طوليًّا. إن غشاء النقانق، شأنه شأن جدار أي حاوية ضغط، ليس عليه أن يحتوي السوائل وغيرها من المواد بالداخل وحسب، وإنما هو «ينقل الضغط»؛

أي القوة لكل وحدة مساحة. في حالة الأشكال الأسطوانية ذات ثخانة المادة المنتظمة، تُقارِب قيمة قدرة الضغط العرضية قبل التمزق ضِعف القيمة الطولية. لهذا السبب تحدث التمزقات طوليًّا. تتسم أنواع أخرى من الأنابيب بالأمر ذاته، على غرار الأنابيب البلاستيكية والمواسير المعدنية والأوعية الدموية (كالشريان الأورطي)، ومواسير البنادق.

## (١٦) سيارتِي صندوق من الصلب!

الطريقة القديمة كانت تُنتج سيارات ليست بالصلابة الكافية للحد من تأثيرات الفَتْل (الالتواء). هذا يعني أن الأجزاء المختلفة لبدن السيارة ستُثنى بمقادير مختلفة، وهي نتيجة يُطلَق عليها الانثناء التفاضلي تتسبَّب في جعل متطلبات التعليق تتفاوت بدرجة كبيرة للغاية تحت الظروف المختلفة للقيادة العادية.

أما بدن السيارة الحديث — صندوق الصلب — فهو في الأساس صندوق فَتْل كبير يتسم بقوة التحمل والصلابة الشديدة في الآن عينه. في الواقع، في حالة هيكل صندوق الفتل تزداد مقاومة الانثناء بمقدار يعادل ضِعف مساحة المقطع العرضي. ومن ثم، تكون استجابة الالتواء أكثر انتظامًا، ويصير من الممكن وضع أنظمة تعليق أفضل؛ لأن نطاقات معاملات التشغيل الفيزيائية تكون محدودة بشكل أكبر.

## (١٧) هيكل البالون

يجب الإبقاء على ضغط الهواء داخل الفقاعة أعلى قليلًا من الضغط الجوي؛ وذلك من أجل دعم غشاء الفقاعة فوق الاستاد أو ملعب التنس. وبدلًا من استخدام دعم ثابت، شأن الموجود في أغلب الهياكل، فإن الهواء القابل للانضغاط بالداخل يؤدي المطلوب. لنفترض أن وزن غشاء البالون يبلغ رطلًا واحدًا لكل عشر أقدام مربعة. من أجل التوازن، هناك حاجة لبذل قوة رافعة لأعلى مقدارها رطل واحد على كل عشر أقدام مربعة من أجل دعم السقف. وبالتحويل إلى الرطل لكل بوصة مربعة، يكون الضغط المطلوب ٠٫٠٠٧ رطل لكل بوصة مربعة فقط، وهي زيادة طفيفة للغاية في ضغط الهواء المحيط داخل سقف البالون! وبمقدور بضع مراوح صغيرة القيامُ بهذا الأمر. وبطبيعة الحال، يجب إبقاء السقف مغلقًا.

## (١٨) الجمالون المفتوح*

الجمالون المفتوح الثلاثي الأبعاد يتألَّف من أشكال هرمية رباعية الأسطح، تكون جوانبها مثلثات مفتوحة تحاول الحفاظ على شكلها. أيُّ جمالونات مفتوحة ثلاثية الأبعاد أخرى، على غرار إطار «الصندوق المستطيل»، يمكنها «التعلق» كي تصير أصغر حجمًا؛ لأنها لا تتألف من مثلثات في كل جوانبها. يمكن استخدام الأمثلة المعتادة للمثلثات الثنائية الأبعاد والمستطيل ثنائي الأبعاد، ذات الأوتاد في أركانها لبيان صلابة الشكل المثلثي المفتوح في مقابل «مرونة» الشكل المستطيل المفتوح.

إضافة إلى ذلك، بعض حواف مثلثات الجمالون المفتوح ستكون واقعة تحت الضغط، بينما ستكون أخرى واقعة تحت الشد. ومن الممكن اختيار المواد الملائمة لهذه الحواف من أجل تحسين نسبة القوة إلى الوزن لأقصى درجة بما يتناسب وظروفَ التطبيق المطلوب.

## (١٩) البراغيث المتقافزة*

ليس بوسع الإنسان أن يقفز إلى ارتفاع يعادل عدة مرات قدر ارتفاعه؛ لأن قوة عضلات ساقَي الإنسان لا تمكِّنه من توليد سرعة ابتدائية كبيرة بما يكفي لأعلى. ارتفاع القفزة هو $h = Fs/mg$؛ حيث $F$ متوسط القوة ضد الأرض المطلوب من الكائن من وضع رابض كي يرفع مركز الجاذبية لمسافة $s$ قبل أن يغادر الأرض. هنا $m$ هي كتلة الكائن و$g$ هي عجلة الجاذبية عند سطح الأرض. بتعبير أوضح، الشغل الابتدائي المبذول $(Fs)$ لإنتاج سرعة ابتدائية لأعلى يتحول إلى تغير في طاقة الوضع $(mgh)$.

الآن يمكنك أن تفهم السبب وراء قدرة الحيوانات الصغيرة على القفز لارتفاعات عالية. فلو افترضنا أن قوة الحيوان $F$ تتناسب طرديًّا مع مساحة المقطع العرضي لعضلاته، فستكون $F$ حينها متناسبةً طرديًّا مع $L^2$؛ حيث $L$ هو الحجم الخطي للحيوان. وبناءً عليه، تتناسب العجلة $F/m$ طرديًّا مع $L^2/L^3 = 1/L$. وبما أن $s$ تتناسب طرديًّا مع $L$، يكون الارتفاع $L$ مستقلًّا عن حجم الحيوان. وبهذا حتى إذا تم تكبير البرغوث إلى حجم الإنسان، فلن يكون بمقدوره إلا القفز لبضع أقدام قليلة فوق الأرض.

أم تُراه يستطيع؟ سينهار البرغوث العملاق تحت وطأة وزنه، الذي سيكون أكبر بنحو ألف مرة، بينما سيكون المقطع العرضي لعضلاته وهيكله العظمي أكبر بنحو مائة مرة فقط. من الواضح أن كُتَّاب الخيال العلمي ينسون هذه المشكلة عندما يحاولون إخافتنا بالحشرات العملاقة.

## (٢٠) نِسَب أحجام الحيوانات*

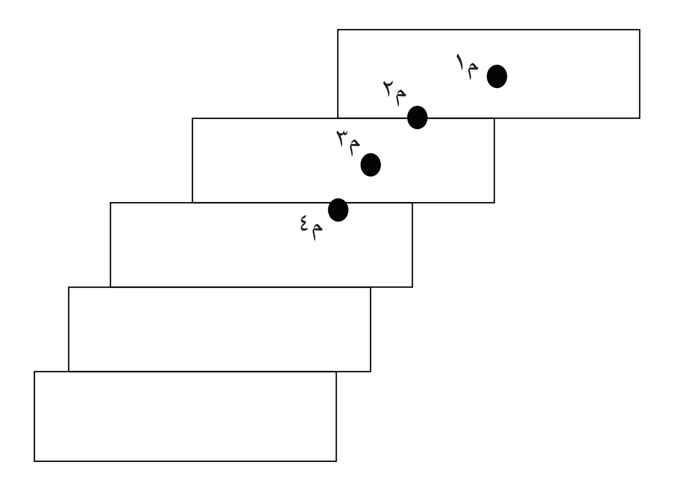
من شأن مضاعفة قُطر العظام أن يجعل العظام أقوى أربع مرات فقط (في المتوسط)، لكن لو صار قُطر العظام $2\sqrt{2}$ مرة قدر القطر الأصلي للعظام فستتمكن من دعم الوزن. تحتاج الضلوع ذلك المعامل البالغ $2\sqrt{2}$؛ لأنها عُرضة للأحمال المسببة للانثناء أيضًا.

المثير للدهشة أن الفقرات تحتاج فقط أن تكون أكبر في القُطر بمقدار الضعف؛ لأنها تقع في أغلب الأحيان تحت الضغط؛ ومن ثم فهي تضغط بعضها ضد بعض (في وجود أقراص الضغط فيما بينها). العظام القديمة لها قوة سحق أعلى لكنها تصير أكثر قابليةً للانكسار عند تعرضها لقوى اللَّي والانثناء.

## (٢١) سُلَّمٌ لا نهائي*

الحل القياسي: نعم، يمكن عمل هذا. ولا يمكن للقالب العلوي أن يبرز بطول يزيد وحسب عن طوله الأساسي، بل يمكن جعله يبرز بأي طول نشاء! بطبيعة الحال، علينا ألا نلجأ إلى حدِّ القوة الساحقة في أي من الحلين الواردين أدناه!

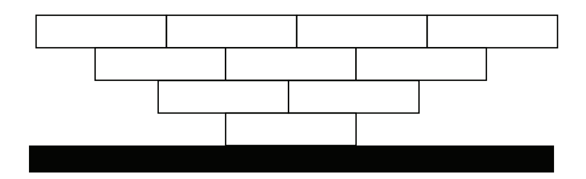
في الشكل المبيَّن، إذا وُضع قالب طوب فوق قالب آخر، فإن القالب العلوي لن يسقط إذا كان مركز الجاذبية الخاص به في أي موضع فوق القالب الموجود أدنى منه. وتتحقَّق الموازنة العظمى، التي تعادل نصف طول القالب، عندما يكون مركز جاذبية القالب العلوي، م١، فوق طرف القالب الأدنى منه مباشرة.




لننظر إلى الكيفية التي سنحلِّل بها هذا البناء. سنبدأ ببضعة قوالب ونُدخِل قالبًا جديدًا إضافيًّا بالأسفل كل مرة. كيف يمكن وضع قالبَيْن على قالب ثالث بهدف تحقيق الموازنة العظمى؟ يقع مركز الجاذبية المشترك للقالبين العلويين عند النقطة م٢، على مسافة رُبع طول القالب من طرف القالب الثاني. ضع النقطة م٢ فوق طرف القالب الأسفل. يتوازن القالب الثاني على مسافة رُبع طول القالب بعد القالب السفلي.

لوضع هذه القوالب الثلاثة بأكبر قدر من الموازنة فوق قالب رابع، ضع مراكز جاذبية القوالب الثلاثة، م٣، عند طرف القالب الجديد السفلي. كيف يتحدَّد مركز الجاذبية؟ من خلال معادلة العزم في اتجاه عقارب الساعة للقالبين العلويين حول المحور المار بالنقطة م٣ بالعزم في عكس اتجاه عقارب الساعة الخاص بالقالب الثالث. يمكننا بهذه الصورة تكرار هذه السلسلة من الخطوات إلى ما لا نهاية. وسنصل أخيرًا إلى الموازنة الإجمالية للقالب العلوي فوق السفلي على صورة متسلسلة لا نهائية: الموازنة الإجمالية تساوي $L/2(1 + 1/2 + 1/3 + 1/4 + 1/5 + \ldots)$؛ حيث $L$ طول القالب الواحد. والمجموع داخل القوسين هو المتسلسلة المتناسقة الشهيرة التي لا تقارب أي عدد نهائي؛ بمعنى أن المجموع سيكون أكبر من أي عدد منتهٍ.

حل بديل: رُصَّ القوالب فوق القالب الأسفل بحيث تمتد القوالب المرصوصة للخارج في كِلا الاتِّجاهين من المركز من أجل موازنة العزم. سيكون هناك خط عمودي للتناظر لأن كل قالب إلى اليسار يتم موازنته بقالب موضوع على نحو مماثل في اليمين. ويمكن لكلا الجانبين أن يمتدا إلى ما لا نهاية.



## (٢٢) حبل راعي البقر*

ما يسبِّب دوران أنشوطة الحبل شبه الدائرية في مستوًى عمودي هو تحريك اليد لمقطع من الحبل ليس بجزء من الأنشوطة التي تدور في حركة دائرية، والذي يبدأ في وضع متعامد تقريبًا على الحبل المكوِّن لأنشوطة صغيرة. وبينما تكبر الأنشوطة، فإن طول مقطع الحبل المحمول في اليد يزيد الأنشوطة، وتصير الزاوية بين الحبل والأنشوطة أقل عموديةً، وتقترب سريعًا من المستوى العمودي للأنشوطة الأكبر.

وحول الأنشوطة الدائرية العمودية، محصِّلة القوى المؤثرة على قطعة صغيرة من الحبل يجب توجيهها إلى الداخل شعاعيًّا في هذه الحالة المثالية من أجل إنتاج التسارع الشعاعي إلى الداخل للحركة حول الدائرة. هذه القوة الشعاعية الصافية إلى الداخل هي المجموع المتجهي لثلاثة أنواع من القوة؛ قوى الشد المبذولة من جانب قطعتَي الحبل المتجاورتين، واحدة على كل جانب من جانبَي قطعة الحبل التي لدينا، والمُرَكَّب الشعاعي لقوة الجاذبية، والمركَّب الشعاعي للقوة المسبِّبة للانثناء الناتجة عن تصلُّب الحبل أو مقاومته للتشوه الجانبي. في حالة الأنشوطة الدائرية، أيُّ تغيير في المركب الشعاعي لقوة الجاذبية مع الوضع الزاوي حول الأنشوطة يجب موازنته بواسطة تغيرات في قوى الشد لو افترضنا أن المركب الشعاعي للقوة المسبِّبة للانثناء سيظل ثابتًا.

يتفاوت المُرَكَّب الشعاعي لقوة الجاذبية حسب جيب تمام $\alpha$؛ حيث $\alpha$ الزاوية المقيسة من المستوى العمودي لأسفل. وبناءً عليه، يجب أيضًا أن تتفاوت قوة الشد على امتداد الحبل بتفاوت جيب تمام $\alpha$، بحيث يكون الشد الأقصى في أسفل الأنشوطة. إضافة إلى ذلك، قوة الشد هذه ستزداد مع سرعة دوران الأنشوطة. هل هناك حد أدنى لسرعة الدوران من شأنه أن يبقي على الحبل في صورة دائرة؟ الجواب: نعم. فحين تكون $v = \sqrt{Ra}$، يُنتَج التسارع الشعاعي الداخلي الصحيح $a$ بواسطة القوى الثلاث

المذكورة أعلاه؛ حيث $v$ هي السرعة المماسية و$R$ نصف قطر الأنشوطة. وإذا قلت $v$ عن هذه القيمة التي تمثل الحد الأدنى، فستنهار الدائرة حينئذٍ.

الفصل التاسع

# وسائل النقل

## (١) عربة الأطفال

الجواب هو: نعم. فعند قطع أي مسافة بعينها ستدور العجلة التي يبلغ ارتفاعها قدمًا واحدةً ضِعف عدد المرات التي ستدورها العجلة الكبرى حول نفسها، وتكون نتيجة هذا بذل مقدار أكبر من الشغل ضد الاحتكاك في المحامل الموجودة عند محور العجلة.

ثمة اعتبار آخر يتمثَّل في الحصى الموجود في الطريق. فالقوة الأفقية المطلوبة لدفع العجلة التي يبلغ ارتفاعها قدمًا واحدةً فوق الحصاة أكبر من القوة المطلوبة لدفع العجلة التي يبلغ ارتفاعها قدمين. ويمكننا رسم مخطَّط القوة ودراسة مركبَي القوة الأفقي والرأسي لحركة العجلة فوق الحصاة. وهذا التأثير هو أحد الأسباب وراء امتلاك عربات كونستوجا، التي استُخدمت في المراحل المبكرة من التوسُّع جهة الغرب، لعجلات كبيرة. أيضًا، دوران العجلة حول نفسها لمرات أقل يعني إتلاف المحاور بدرجة أقل.

## (٢) الدرَّاج الساقط

عن طريق توجيه المقود في اتجاه السقوط، يتَّبع الدرَّاج مسارًا منحنيًا له نصفُ قُطر يمكِّنه من توليد مقدار كافٍ من قوة الطرد المركزية، بحيث يتمكَّن من استعادة اعتداله واعتدال الدراجة. وما إن يَصِرْ في الوضع العمودي، يُدِرِ الدرَّاجُ المقود للجهة الأخرى كي يقترب من اتجاهه الأصلي. قبل هذه المناورة، يكون الدرَّاج وبقية الدراجة قد تمايلا إلى الخط الواقع خلف العجلة الأمامية بسبب وجود تأثير متأرجح.

هناك ميل لدى الدرَّاج لأن يبالغ في إدارة المقود. في أيٍّ من الحالتين، للخروج من المنحنى المبدئي، يكون الدرَّاج مجبرًا على أن يدخل في منحنًى آخر على الجانب الآخر من

الاتجاه الأصلي. وبهذا يتقدَّم الدرَّاج بواسطة سلسلة من الأقواس التي تبدو على سرعة عالية غير ملحوظة تقريبًا. فعلى أي حال، على السرعة العالية يملك الدرَّاج تَرَف أن يكون للتقوس نصف قُطر كبير $r$ — وهو بمنزلة طريق مستقيم تقريبًا — نظرًا لأنه يحصل على قوة طرد مركزية كافية من الحد $v^2$ الكبير في بسط المعادلة $F_{\text{centrif}} = mv^2/r$.

*Kirshner, D. "Some Nonexplanations of Bicycle Stability."* American Journal of Physics *48 (1980): 36–38.*

## (٣) التوقُّفات المفاجئة

القوة الاحتكاكية العاملة بين الجسمين تتناسب طرديًّا مباشرةً مع القوة التي تدفعهما معًا، ومع معامل الاحتكاك للجسم المتصل بالآخر. عند الضغط على المكابح، تميل السيارة إلى الأمام؛ لأن العجلات الأربع تبطئ حركتها إلى الأمام بينما يواصل جسم السيارة اندفاعه. وفي النهاية تعمل نقاط الاتصال بين العجلات وجسم السيارة على جعل الجسم يبطئ سرعته هو الآخر. مركز كتلة السيارة، الموجود أعلى الارتفاع المركزي للعجلتين الأماميتين، يبذل عزمًا دورانيًّا على السيارة محاوِلًا أن يقلب السيارة فوق عجلتيها الأماميتين. لحسن الحظ، أغلب هذا العزم الخطير (لكن ليس كله) يعادله عزم الجاذبية المؤثِّر على مركز الكتلة أيضًا.

العزم الصافي حول محور العجلتين الأماميتين يُميل الطرف الأمامي للسيارة للأسفل بدرجة ملحوظة خلال التوقف المباغِت. فعليًّا، خلال هذا التوقف المفاجئ، قد تضغط قوة إضافية مقدارها نحو ١٠ بالمائة من وزن السيارة على العجلتين الأماميتين، بينما ستدعم العجلتان الخلفيتان وزنًا أقل من السابق. فستكون مكابح العجلتين الأماميتين بحاجة إلى بذل القسم الأكبر من قوة الكبح (نحو ٦٥ بالمائة)، بحيث تستطيع الإطارات أن «تخبر الطريق» عبر قانون نيوتن الثالث بأن يدفع ضدها بقوة كافية.

*Hafner, E. "Why Does an Accelerating Car Tilt Upward?"* Physics Teacher *16 (1978): 122.*

*Whitmore, D. P., and T. J. Alleman. "Effect of Weight Transfer on a Vehicle's Stopping Distance."* American Journal of Physics *47 (1979): 89–92.*

## (٤) المكابح

الحالتان مختلفتان. على الطريق المستوي لا تحدث هزة؛ لأن المكابح ضُغطت والسيارة سرعتها صفر. لكن على الطريق الصاعد ستشعر قائدة السيارة بهزة قوية عند الضغط على المكابح والسيارة سرعتها صفر؛ وسبب هذا هو أنه سيكون هناك تغيُّر مباغت في التسارع.

## (٥) مفاجأة

السيارة البيضاء (التي تعجز عجلتاها الأماميتان عن الدوران) ستهبط ومقدمتها إلى الأمام، أما السيارة السوداء فستدور حول نفسها، بحيث إن عجلتيها الخلفيتين العاجزتين عن الدوران تصيران في المقدمة!

الاحتكاك بين العجلات التي تدور وبين السطح هو احتكاك ساكن (فكل عجلة دوَّارة تكون لحظيًّا في حالة سكون في الموضع الذي تلمس فيه السطح). العجلات العاجزة عن الدوران ستنزلق؛ ومن ثم تستشعر هذه العجلات احتكاكًا انزلاقيًّا، والذي سيكون أصغر في حالة الاتصال بين نفس هاتين المادتين. ستبدأ السيارة السوداء ومقدمتها إلى الأمام، لكنها لن تنزلق بشكل صحيح. ومع دوران السيارة قليلًا حول نفسها سيواصل صافي العزم المُنتَج بواسطة الاحتكاك الساكن في المقدمة والاحتكاك الانزلاقي في المؤخرة تدوير السيارة حول نفسها، وبهذا ستتاح الفرصة لمؤخرة السيارة كي تدور بحيث تصير في المقدمة.

*Unruh, W. G. "Instability in Automobile Braking."* American Journal of Physics *52 (1984): 903–909.*

## (٦) مكابح المحرك

يكون فعل الكبح في أقوى صوره في وضع نقل الحركة الأول؛ لأن المحرِّك يدور بأسرع صورة (على أي سرعة للسيارة) حين يكون في وضع نقل الحركة الأول. يتم تحويل طاقة الحركة إلى الطاقة الحرارية لاحتكاك المحرك على نحو أسرع حين يكون المحرك دائرًا بصورة أسرع. واستخدام كبح المحرك من أجل إبطاء السرعة أثناء الهبوط هو بديل جيد للمكابح التقليدية كي تحوِّل طاقة الحركة إلى طاقة حرارية عند المكابح.

## (٧) نقل الحركة

يولِّد محرك الاحتراق الداخلي قدرًا ضئيلًا للغاية من العزم (قوة اللَّي) على السرعات المنخفضة؛ لذا سيعلق هذا النوع من المحركات بسهولة كبيرة على سرعات الدوران التي تقل عن ٣٠٠ لفة في الدقيقة. وبسبب الصِّغَر البالغ للعزم عند اللفات المنخفضة، من شأن أي حِمل يسير أن يسبِّب تباطؤ عمل المحرك. ولهذا السبب، ثمة حاجة لقابض من أجل فصل المحرك عن عدَّة نَقْل الحركة وربط الحِمل تدريجيًّا إلى أن تصل سرعة لفات المحرك إلى أكثر من ١٠٠٠ لفة في الدقيقة أو نحو ذلك، وعند هذه النقطة يتم إنتاج عزم مفيد. أما المحرك البخاري والسيارة الكهربائية فيمكنهما توليد عزم كامل تقريبًا من وضع السكون!

## (٨) الإطارات المطاطية

الحزوز الموجودة على الإطارات المطاطية تقلِّل تشبُّث الإطارات بالطريق قليلًا في ظل الظروف الجافة؛ لأن مقدارًا أقل من المطاط يكون على اتصال بالطريق وقتها. في المعتاد، ليس هناك علاقة بين قوة الاحتكاك الساكن وبين مساحة الاتصال في حالة الأجسام المصمَتة الجاسئة المتصلة بعضها ببعض، لكن الإطارات ليست أجسامًا جاسئة. وتُظهِر القرائن أن الإطار الأملس سيسبِّب توقف السيارة على الأسفلت في مسافة أقل من الإطارات ذات الحزوز!

الإطارات ذات الحزوز مصمَّمة من أجل الطرق المبتلَّة، بحيث تستطيع المياه المرور من الفُرُجات الموجودة بينها ويتمكَّن المطاط من الاتصال بالطريق دون وجود طبقة رفيعة من الماء بينهما. وإجمالًا، التضحية بمزيد من التشبث بالطرق الجافة يعوِّضه الأداء الأفضل على الطرق المبتلة.

بطانات المكابح ملساء وليست محزَّزة، وذلك لكي تزيد مساحة الاتصال إلى حدها الأقصى؛ لأن المادة ليست جسمًا مصمتًا جاسئًا، وإنما هي جسم مصمَت «يتسم بالمرونة» بدرجة أكبر عند درجات الحرارة الأعلى. أما إطارات سيارات السباق الملساء فإنها «تُحرَق» قبل بدء السباق من أجل زيادة «لزوجة» اتصال الإطار بطريق السباق؛ بمعنى زيادة مُعامِل الاحتكاك الساكن والقيمة القصوى للاحتكاك الساكن قبل الانزلاق.

*Logue, L. J. “Automobile Stopping Distances.”* Physics Teacher *17 (1979): 318–320.*

*Smith, R. C. "General Physics and the Automobile Tire."* American Journal of Physics *46 (1978): 858–859.*

## (٩) الرياح القوية

في اللحظة التي تبدأ فيها العجلات في الانزلاق بدلًا من الدوران، تتغير قوة الاحتكاك الساكن بين العجلات والطريق إلى قوة احتكاك انزلاقي، وهي قوة أصغر بالنسبة إلى نفس المادتين اللتين على اتصال. وبهذا تستطيع قوة الرياح الجانبية الآتية الآن من جهة اليسار أن تتجاوز قوة الاحتكاك الانزلاقي القصوى للإطارات تجاه الطريق وتدفع السيارة إلى الحارة المجاورة إلى اليمين.

## (١٠) عجلتان

البرامق المركَّبة مماسيًّا في الدراجة تحمل نوعين من الحِمل: حملٌ شعاعيٌّ، من خلال دعم المحور، الذي بدوره يدعم هيكل الدراجة والدرَّاج نفسه، وحملٌ مماسي، من خلال مقاوَمة قوى اللَّيِّ المنقولة إلى العجلة المسنَّنة بواسطة السلسلة (عادةً العجلة الخلفية) وإلى الإطارين بواسطة المكابح (على أيٍّ من العجلتين أو كلتيهما). ومن أجل أن تكون البرامق قادرة على حمل أحمال مماسية في كلا الاتجاهين، يجب أن تكون مماسية على المحور في كلا الاتجاهين؛ الأمامي والخلفي.

العجلات ذات البرامق الشعاعية التي تحمل حمولات شعاعية لم تظهر للنور إلا حوالي عام ٢٠٠٠ قبل الميلاد، في العربات الحربية بكلٍّ من سوريا ومصر. وقد صار استخدامها شائعًا في عربات نقل الأفراد والبضائع؛ حيث يكون مصدر الحركة خارج المركبة.

*Krasner, S. "Why Wheels Work: A Second Version."* Physics Teacher *30 (1992): 212–215.*

## (١١) متناقِضة نيوتن

من شأن التطبيق الصحيح لقانون نيوتن الثاني للحركة أن يحلَّ هذا التناقض. تخيَّل أولًا أن هناك صندوقًا وهميًّا يحيط بالعربة، ثم اسأل نفسك أي قوة/قوى أفقية تؤثر

من الخارج على هذا الصندوق الوهمي. إذا كان مجموع هذه القوى الخارجية في الاتجاه الأفقي لا يساوي صفرًا، فسيكون إذن هناك تسارعٌ في اتجاه محصلة القوى هذه. في هذه المسألة الحبل يجذب العربة للأمام ويوفر محصلة القوى إلى الأمام.

عادةً ما يقع الارتباك عند محاولة تطبيق قوانين نيوتن دون أن نحدِّد على نحو لائق القوى الخارجية فقط المؤثرة على الجسم محل الاعتبار. على سبيل المثال، إذا عزلنا الحصان، فسندرك فورًا أن القوة الخارجية الوحيدة التي تسبِّب تسارع هذا الحصان هي قوة الاحتكاك الساكن للطريق المؤثرة على حوافره، وهي قوة يمكن أن تكون أكبر من قوة الجذب التي تبذلها العربة من خلال الحبل.

## (١٢) العربات المطيعة

عجلات كل عربة من العربات تتخذ المسار ذاته الذي تتخذه العربة التي تسبقها. بعبارة أخرى: لا تقرِّر أي عربة أن تتخذ طريقًا مختصرًا، وإنما تحافظ على موضعها في قوس دائري. وبما أن العربات متماثلة، فإن زوايا قضيب القُطر كلها واحدة، وهو ما يؤدي إلى قوس دائري.

طُرحت هذه المسألة أمام أحد مؤلفي هذا الكتاب (فرانكلين بوتر) من جانب ريتشارد فاينمان في سيارته أثناء القيادة إلى ماليبو، كاليفورنيا، من معهد كالتيك عام ١٩٧٦م، بعد أن كان فاينمان قد شاهد عربات الأمتعة المتصل بعضُها ببعض، والتي يتبع بعضها بعضًا إلى الطائرة في اليوم السابق وهو في المطار.

## (١٣) السلم المتحرك

بينما يصعد المزيد من الأشخاص على السلم المتحرك الصاعد لأعلى، من المفترض أن تبطئ السرعة؛ لأن المحرك يحافظ على مستوى قدرة ثابت؛ أي معدَّل شغل ثابت. إلا أن أنظمة السلالم المتحركة على أرض الواقع تعيد ضبط مقدار الشغل الخارج في محاولة منها للحفاظ على سرعة ثابتة تقريبًا.

## (١٤) قطار الملاهي

يكون الشعور بالتجربة مختلفًا بالنسبة إلى كل راكب من الركاب الثلاثة؛ فعند صعود أحد التلال، مثلًا، لا يكتسب القطار أي سرعة إلا بعد أن يصل مركز كتلته إلى قمة

التل. يكون ركاب العربة الأولى وقتها في رحلة هبوط بطيئة؛ لذا فهم يشعرون بالتسارع على نحو متأخر، بينما ركاب العربات الوسطى يكونون قرب القمة ويبدءون في الشعور بالتسارع للأسفل، أما ركاب العربة الأخيرة فيشعرون بزيادة في السرعة وهم يصعدون التل. تحدث الخبرة عينها لكن بشكل معكوس حين يهبط القطار أحد الوديان.

## (١٥) حلقة على شكل قطرة متدلية

يُبْطِئ قطار الملاهي وهو يصعد لأعلى الحلقة؛ لأن طاقة وضع الجاذبية تزيد على حساب طاقة الحركة. للحلقة التي على شكل قطرة متدلية مزيتان على الحلقة الدائرية؛ فالانعطاف الحاد عند القمة يؤدي إلى تسارع شعاعي أكبر يحافظ على الركاب في عرباتهم حتى وإن كانت العربات تتحرك ببطء. كما أن السرعات الأبطأ المطلوبة لاجتياز الحلقة تقلِّل التسارع الضخم الذي يمكن الشعور به في المعتاد عند نهاية أي حلقة دائرية، بحيث يصل إلى قيمة يمكن السيطرة عليها بدرجة أكبر.

## (١٦) اجتياز المنعطفات

عند اجتيازِ السيارةِ أحدَ المنعطفات، كل العجلات تنزلق بدرجة طفيفة. العجلات الموجودة إلى الخارج من المنعطف تقطع دائمًا مسافة أطول حول المنحنى، الذي له نصف قطر أكبر. العجلات الأمامية في كل السيارات تقريبًا (والخلفية كذلك في مركبات الدفع الرباعي) تُصمَّم بهدف تقليل الانزلاق من خلال السماح للعجلتين الأماميتين للسيارة بأن تشيرا إلى اتجاهين مختلفين اختلافًا طفيفًا، حسب الحاجة، ومن خلال السماح للعجلة الخارجية بأن تدور بسرعة أكبر. لا يزال يحدث قدر من الانزلاق عند كل عجلة من العجلتين الأماميتين؛ لأن الظروف المثالية لا يمكن أن تتحقَّق إلا في مناطق صغيرة للغاية من الاتصال بين الإطار والطريق. أما الأقسام الأخرى من الإطار المتصلة بالطريق فستظل تمر ببعض الانزلاق. لكن الموقف بالنسبة إلى العجلتين الخلفيتين ليس جيدًا بنفس الصورة؛ حتى وإن كانت العجلتان تدوران بسرعتين مختلفتين؛ وذلك لأنهما تظلان متوازيتين.

## (١٧) السيارة القوية

السيارة التي تسير بسرعة ٥٠ ميلًا في الساعة (نحو ٧٥ كيلومترًا في الساعة) ستقابل مقاومة رياح يستطيع محرك قدرته ٢٠ حصانًا (١٤٫٨ كيلووات) معادلتها من أجل الحفاظ على سرعة السيارة ثابتة. لكن التسارع بهذا المحرك الصغير في سيارة كبيرة الحجم سيكون بطيئًا للغاية، وربما خطيرًا، حين يرغب السائق في التسارع من نقطة توقُّف أو يحتاج أن يتجاوز سيارة أخرى أمامه. ولهذا، يُنصح بألا تقل قدرة المحرك عن ٦٠ حصانًا، أما إذا تمتع المحرك بقدرة ٢٠٠ حصان أو أكثر فهذا سيضيف قوة عاتية للسيارة!

## (١٨) سيارات الجر الأمامي

أيُّ مَرْكبة تتمتع بثقل كبير فوق عجلات الجر أو الدفع سيكون لها قوة سحب أكبر إذا كان الطريق مغطًّى بالثلج. إن القوة الطبيعية الكبرى ستمكِّن قيمة قوة الاحتكاك الساكن القصوى بأن تكون أعظم؛ ومن ثم تستطيع العجلات أن تدفع أفقيًّا ضد الثلج بقوة أكبر قبل أن يحدث الانزلاق. بالنسبة إلى الشاحنات الخفيفة ذات الدفع الخلفي فمن الممكن تحميلها بأكياس من الرمال من أجل زيادة الوزن فوق عجلات الدفع بهدف تحسين قوة السحب في الثلج أو الطين.

## (١٩) المتنزهون

وضع الأشياء الأثقل والأكثر كثافةً في الجزء العلوي من حقيبة الظهر تصرُّف حصيف من المنظور الفيزيائي. فكلما ارتفع مركز جاذبية حقيبة الظهر، قلت زاوية الانحناء للأمام عند وسط الجذع التي يحتاجها المتنزه كي يضع مركز جاذبيته فوق قدميه. وحين تكون زاوية الانحناء أصغر يعني هذا ضغطًا أقل على المعدة وعلى عضلات الظهر. ويتقن بعض رجال القبائل عملية وضع الحمولات الثقيلة على رءوسهم مباشرةً، بحيث لا تكون هناك حاجة لأي انحناء للأمام.

## (٢٠) أسرع حيوان

بالتأكيد يقل وزن الشيتا والظبي الأمريكي بدرجة كبيرة عن وزن الفيل؛ ومن ثم تكون سيقانهما أقل ضخامةً بكثير. علاوةً على ذلك، تستطيع أجسامُهما الانثناءَ بسرعة كبيرة؛ وبذا يستطيعان بسط سيقانهما للأمام والخلف بدرجة أكبر من معظم الحيوانات. ولأن قوة عضلات الساق تزيد بالتناسب مع مساحة المقطع العرضي بينما تزيد الكتلة بزيادة الحجم، تتسم الحيوانات الأثقل بعدم الأفضلية فيما يتعلق بنسبة قوة الساق لكل كيلوجرام. ولهذا السبب يمتلك الفيل سيقانًا أضخم وعضلات ساق أكبر، بيد أن قوة الساق/العضلات لكل كيلوجرام من كتلة الساق تكون أقل بكثير من القيم التي يمتلكها الشيتا والظبي الأمريكي. لذا، حتى من دون وجود كل هذه الكتلة فوق السيقان، سيخسر الفيل السباق مع الشيتا والظبي الأمريكي.

## (٢١) اللوح المتأرجح

الاحتكاك بين القضيبين الدائريين واللوح يكفي لتحريك اللوح على نحو منتظم إلى اليمين وإلى اليسار. كما هو مبين من البداية، اللوح يتسم بعدم التناظر على القضيبين المتماثلين. والقضيب الذي يدعم الجزء الأكبر من وزن اللوح سيستشعر لحظيًّا القدر الأعظم من القوة الاحتكاكية، وهذا يمكِّنه من أن يدفع اللوح نحو القضيب الآخر. وحين ينعكس الموقف، يرد القضيب الآخر بالمثل، ويعود اللوح إلى القضيب الأول. وما دام القضيب الآخر يستطيع، من خلال الاحتكاك، أن يمنع اللوح المتحرك من الذهاب لأبعد مما ينبغي — أي يمنع مركز الكتلة الخاص باللوح من أن يتجاوز القضيب — فسيتواصل التأرجح إلى ما لا نهاية، أو إلى أن يَبلى اللوح بالكامل.

## (٢٢) حركة الدراجة*

ستتحرك الدراجة إلى الخلف وسيدور الكَرَنك في اتجاه عقارب الساعة! بالنظر إلى الشكل، نلاحظ العلاقة التالية: العزم الناتج المؤثر على الكرنك مقداره صفر؛ أي إن $Tr_2 - Fr_1 = 0$؛ حيث $T$ قوة الشد في السلسلة و$F$ القوة المبذولة. العزم الناتج المؤثر على العجلة الخلفية مقداره صفر هو الآخر؛ أي إن $Tr_3 - Sr_4 = 0$؛ حيث $S$ القوة إلى الأمام المبذولة على العجلة الخلفية بواسطة الأرض. يقضي قانون نيوتن الثاني بأن

التسارع ينبغي أن يحدث في اتجاه محصلة القوة. فإذا كانت $S > F$، تكون محصلة القوى إلى الأمام؛ وبذا يكون التسارع في الاتجاه إلى الأمام.

بجمع هاتين المعادلتين للخروج بقيمة $S$، نحصل على $S = Tr_3/r_4 = Fr_1r_3/(r_2r_4)$. وكما هو مبين في الشكل فإن $r_1 < r_4$ و$r_3 < r_2$ لأي دراجة طبيعية، وبهذا فإن $S < F$. هناك محصلة قوى $F - S$ تؤثر «إلى الخلف» على هيكل الدراجة. ستتسارع الدراجة إلى الخلف، بحيث تدور عجلتاها والكرنك في اتجاه عقارب الساعة.

*Nightingale, J. D. "Which Way Will the Bike Move?"* Physics Teacher *31 (1993): 244–245.*

## (٢٣) اجتياز المنعطف بالدراجة*

حين تكون بحاجة إلى اجتياز منعطف ما بدراجة، فإن انحناء المسار يمكن أن يولِّد قوة طرد مركزية نحو الجانب الخارجي للمنعطف تكفي للتسبُّب في وقوعك من على الدراجة. ولمعادلة هذا التأثير، عليك أن تميل جهة المنعطف، بحيث تقع القوة الناتجة التي تتسبَّب فيها الجاذبية وقوة الطرد المركزية في المستوى المائل للدراجة. وللحصول على الميل المنشود، فأنت توجِّه العجلة الأمامية لا شعوريًّا نحو الجانب الخارجي للمنعطف. حينها تتسبَّب قوة الطرد المركزية في دفعك على الفور نحو المنعطف. وللخروج من المنعطف، عليك أن تدير المقود بحدة أكبر نحو المنعطف، فمن شأن هذا الفعل أن يدفع الدراجة نحو المستوى العمودي. وفي اللحظة التي تستعيد فيها اعتدالك مرة أخرى، كل ما عليك فعله هو جعل العجلة الأمامية تسير في مسار مستقيم وتتابع سيرك الطبيعي في خط مستقيم.

إضافةً إلى كل ما سبق، هناك تأثير آخر استحدثه ستارلي عام ١٨٨٥م، ويسمَّى الشوكة المنحنية، يلعب دورًا كبيرًا في ثبات الدرَّاجة خلال الدوران. والنتيجة هي عزم يلوي العجلة الأمامية في اتجاه الدوران، وهو التأثير المطلوب تحديدًا لتمكين الدرَّاج من قيادة الدراجة «دون أن يمسكها بيديه».

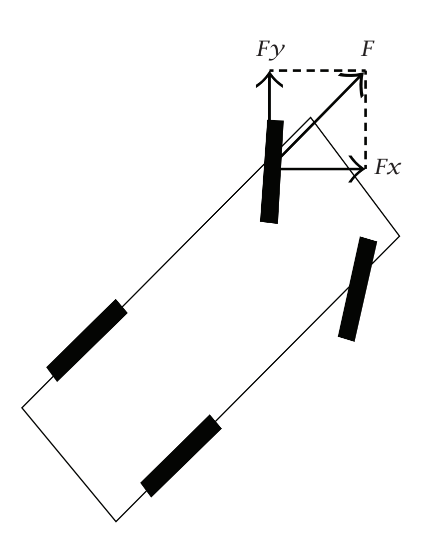
لكن بينما يتسبَّب تأثير الشوكة المنحنية للعجلة الأمامية في ليِّ العجلة الأمامية تجاه الدوران، علينا أن نسأل عن ماهية التأثيرات التي تمنع العجلة الأمامية من أن تصنع زاوية أكبر من اللازم مع بقية الدراجة. قوة التأرجح هي ما يفعل هذا تحديدًا! والمبدأ

بسيط: فأيٌّ عجلة تحمل حملًا سوف تدور بيسر في الاتجاه الذي تشير إليه. إلا أن العجلة سوف تَعْلَق إذا حاولت أن تجعلها تنزلق إلى الجانب. ما الحل؟ ضع محور العجلة إلى الخلف قليلًا من محور الدوران. وسريعًا ما تتسبَّب القوة الكبيرة للاحتكاك الانزلاقي في محاذاة العجلة في اتجاه الحركة. الأمر عينه ينطبق على الدرَّاجة؛ فالراكب وبقية الدراجة يتأرجحان خلف العجلة الأمامية، وهو ما يحدِّد اتجاه الحركة. لكن بالنسبة إلى الدرَّاج، سيبدو أن العجلة الأمامية هي ما يقوم بفعل المحاذاة المركزية.

*Kirshner, D. "Some Nonexplanations of Bicycle Stability."* American Journal of Physics *48 (1980): 36–38.*

## (٢٤) سائقو السباقات*

بطبيعة الحال يبطئ سائق سيارة السباق «قبل» المنعطف بمسافة كافية، بحيث لا تخرج السيارة عن الطريق حين يزيد السائق سرعته وهو يجتاز المنعطف. الهدف هنا هو توظيف السرعة الأعلى للخروج في الطريق المستقيم التالي على المنعطف.




كما هو مبين في الشكل، حين تتسارع السيارة ذات الجر الأمامي أثناء اجتياز المنعطف، تتلقَّى العجلتان الأماميتان دفعة إضافية، تمثِّلها القوة $F$. هذه القوة الإضافية

$F$، عند تحليلها إلى مركبيها المتعلقين باتجاهي جسم السيارة إلى الأمام وإلى الجانب، يمكن أن نرى أنها تدفع السيارة للأمام إلى الخارج من المنعطف وإلى الجنب إلى الداخل من المنعطف. وإذا تجاوز أيٌّ من مركَّبي القوة القيمة القصوى لقوة الاحتكاك الساكن بين الإطارات والطريق، فسيحدث الانزلاق.

*Franklin, G. B. "The Late Apex Turn."* Physics Teacher *28 (1990): 68.*
*Hewko, R. A. D. "The Racing Car Turn."* Physics Teacher *26 (1988): 436–437.*

## (٢٥) الجدار*

يجب أن تصل طاقة الحركة الخاصة بالسيارة إلى الصفر كي تصل السيارة إلى حالة السكون قبل أن تصطدم بالجدار. إذا كانت مسافة التوقف $x$ أقل من المسافة إلى الجدار $d$، فلن يحدث اصطدام. وعند توجيه السيارة نحو الجدار مباشرة والضغط على المكابح فإن «الشغل المبذول» بواسطة قوة الاحتكاك الساكن $F$ (بدون انزلاق) المؤثرة على مسافة التوقف $x$ يتحدد من المعادلة $mv^2/2 - Fx = 0$. وبالحل من أجل إيجاد مسافة التوقف نجد أن $x = mv^2/2F$.

في حالة المنعطف الدائري دون استخدام المكابح، تعمل قوة الطرد المركزية، بحيث إنه عندما لا يحدث أي انزلاق فإن $F - mv^2/R = 0$ أو $R = mv^2/F$. وما دامت قيمة $x$ أو $R$ أقل من المسافة إلى الجدار $d$، فلن تصطدم السيارة بالجدار. ويمكننا أن نرى على الفور أنه بالنسبة إلى نفس قوة الاحتكاك الساكن $F$، فإن مسافة التوقف $x$ هي $R/2$. لذا من الأفضل أن تضغط المكابح وأنت في طريقك إلى الجدار.

الفصل العاشر

# الرياضة

## (١) قوة المرأة

العبارة صحيحة. تشير دراسات عدة إلى أنه لكل كيلوجرام من وزن الجسم الصافي، تكون النساء في حقيقة الأمر أقوى بدرجة ما من الرجال. وهذه النتائج تعني ضمنًا أن المرأة ليست بحاجة إلى أن تمتلك نفس كمية العضلات التي يملكها الرجل في نفس المنافسة، هذا في ظل تساوي العوامل الأخرى كافة. إضافة إلى ذلك، لا يستخدم الرياضيون عادةً أكثر من ٢٠ بالمائة من قدراتهم العضلية. ولهذا لا ينبغي لحقائق مثل قدرة فتاة في الرابعة عشرة من عمرها على السباحة أسرع ممَّا فعل جوني ويسمولر في أولمبياد عام ١٩٢٤م أن تثير دهشتنا. تستطيع النساء بناء قوة كبيرة من خلال تدريبات الأثقال دون أن يتسبب هذا في تضخيم العضلات. إذا كان الرجل أقوى، فهذا يرجع ببساطة إلى امتلاكه قدرًا أكبر من الأنسجة العضلية مقارنةً بالمرأة. يميل جسد المرأة إلى امتلاك نسبة دهون إلى الوزن أكبر، قدرها نحو ٢٥ بالمائة، بينما تبلغ هذه النسبة لدى الرجال نحو ١٥ بالمائة في ظل تساوي الظروف الإجمالية.

*Alexander, R. McNeill.* The Human Machine. *New York: Columbia University Press, 1992, pp. 35–39.*

*Wilmore, J. H. “A Look at the Female Athlete Proves a Women Is Not Limited by Her Biology.”* Women in Sports *June (1974): 40.*

## (٢) التعلُّق في الهواء!

التعلُّق في الهواء وَهْم يسهل تفسيره من خلال بعض أساسيات الفيزياء. بينما يصل الجسم ذروة قفزته، تكون السرعة العمودية قليلة للغاية؛ لذا لا يتحرك الجسم بعيدًا للغاية. ويمكننا من واقع الحسابات أن نجد أن المرء يقضي نصف الوقت في الهواء في الربع العلوي من مسار القفزة. الوقت الفعلي «للتعلق في الهواء» يقلُّ عن الثانية الواحدة، لكن الحركة الأبطأ تخدع منظومة العين/المخ لدينا، بحيث نعتقد أن الأمر خلاف ذلك!

## (٣) أحذية العَدْو الجيدة

يحتاج العدَّاءون أحذية عَدْو جيدة من أجل الراحة القصوى وتحقيق نتائج أفضل للعدو. يؤدِّي حذاء العَدْو الجيد وظيفتين كبيرتين؛ فهو يوفر الاحتكاك مع الأرض من أجل منع الانزلاق للأمام أو للخلف، كما يمنح قدرة إضافية على القفز، بحيث يعمل الحذاء بمنزلة امتداد لوتر أخيليس. وأيُّ فشل في تحقيق أيٍّ من هاتين الوظيفتين على نحو طيب يعني أن بعضًا من طاقة العدَّاء لا تحرِّك الساقين والجسم على النحو المنشود. باللغة الدارجة يعني هذا أن بعض الطاقة سيضيع.

بينما تهبط القدم الأمامية على الأرض، لا ينضغط الحذاء الجيد على امتداد الفترة الزمنية المنشودة وحسب، وإنما أيضًا يكون قادرًا على أن يرتدَّ عائدًا إلى شكله خلال الفترة الزمنية المنشودة لذلك. فالتوقيت، ومقدار الانضغاط، وموضع الانضغاط كلها عوامل مهمة تجعل من التصميم الأمثل للحذاء عملية صعبة. على سبيل المثال، تتطلَّب مسافات السباق المختلفة تحسينات خاصة. يعدو عدَّاء المسافات القصيرة على الجزء الأمامي من قدمه بالأغلب؛ لذا هناك حاجة لمزيد من التبطين في هذا الموضع مقارنةً بمنطقة العقب أو منتصف القدم. أما عدَّاءو المسافات المتوسطة فتكون خطواتهم من منطقة وسط القدم إلى الأصابع (أو على نحو أقل كفاءة من العقب إلى الأصابع) وهو ما يتطلَّب المزيد من الوثب من العقب إلى منطقة منتصف القدم. شهدت تصميمات الأحذية تحسُّنًا، لكن لا تزال هناك مساحة لمزيد من التحسن.

*Olympics Editor. "Running Shoes."* Newsweek *(July 27,1992): 58.*

## (٤) سباقات العدو القصيرة

تتاح الطاقة الكيميائية في الخلايا العضلية بواسطة آليَّتين؛ الآلية الهوائية (في وجود الأكسجين)، والآلية اللاهوائية (في غياب الأكسجين). عند العدو السريع لمدة تقلُّ عن عشر ثوانٍ، لا يوجد وقت كي يساهم الأكسجين المستنشَق «خلال السباق» في عملية تحويل الطاقة الكيميائية من أجل العضلات. أما الأكسجين المستنشَق بالفعل قبل بدء سباق المائة متر فيسهم في متطلَّب الطاقة الإجمالي، الذي تكون نسبة ٧ بالمائة منه هوائيًّا، و٩٣ بالمائة منه لا هوائيًّا.

*Frohlich, C., ed.* Physics of Sports. *College Park, Md.: American Association of Physics Teachers, 1986, pp. 113–123.*

*Ward–Smith, A. J. "A Mathematical Theory of Running, Based on the First Law of Thermodynamics, and Its Application to the Performance of World–Class Athletes."* Journal of Biomechanics *18 (1985): 337–349.*

## (٥) استراتيجية العَدْو لمسافات طويلة

يرغب العدَّاءون في تجنُّب التدريب المفرط خلال المراحل الأولى للسباق حتى يتأخر تراكُم حمض اللاكتيك في عضلاتهم، وهو نتاج الآلية اللاهوائية الحالَّة للسكَّر، إلى المراحل الأخيرة من السباق. يؤدِّي وجود حمض اللاكتيك داخل العضلات إلى الألم ويقلِّل من مستويات الأدَاء.

*Frohlich, C., ed.* Physics of Sports. *College Park, Md.: American Association of Physics Teachers, 1986, pp. 113–123.*

*Strnad, J. "Physics of Long–Distance Running."* American Journal of Physics *53 (1985): 371–373.*

*Ward–Smith, A. J. "A Mathematical Theory of Running, Based on the First Law of Thermodynamics, and Its Application to the Performance of World–Class Athletes."* Journal of Biomechanics *18 (1985): 337–349.*

## (٦) تأثيرات الموقع الجغرافي على الأرقام القياسية للقفز العالي

من الأسباب الرئيسية وراء تجاهل التغير في قيمة $g$ عند تسجيل الأرقام القياسية للقفز العالي والوثب الطويل حقيقةُ أن ثمة عوامل أخرى تلعب دورًا أكثر أهميةً بكثير في هذا الأمر. فنسمة الرياح الخفيفة في حدود المقدار المسموح به البالغ مترين في الثانية، أو حالة العشب والتربة على المسار المفضي إلى موضع القفز، أو درجة الحرارة والرطوبة، أو كثافة الهواء، أو مقدار انحناء القضيب، كل هذه الأمور يمكن أن تتفاوت في حدود قيم معينة ويكون لها تأثير أكبر على نتيجة اللاعب.

إن أعلى فارق في قيمة $g$ بين موقعين أولمبيين، مكسيكو سيتي وموسكو، يكون صغيرًا للغاية؛ إذ يبلغ نحو ٠,٤ بالمائة، بينما يكون الفارق في كثافة الهواء ٢٢,٢ بالمائة. في القفز العالي، يؤدي تعويض هذين التأثيرين إلى فارق مقداره ٣ ملِّيمترات، وهو رقم تافه مقارنةً بالسنتيمتر، الذي تقاس به ارتفاعات القفز العالي. أما في القفز الطويل فيبلغ الفارق ٥ سنتيمترات، نصفها تقريبًا راجع إلى انخفاض قيمة $g$ في مكسيكو سيتي والنصف الآخر راجع إلى الانخفاض في كثافة الهواء (حتى بعد الضبط، ظلَّ رقم بوب بيمون للقفز الطويل المسجَّل في الألعاب الأولمبية في مكسيكو سيتي عام ١٩٦٨م أفضل رقم عالمي حتى عام ١٩٩١م، حين كُسر في طوكيو الواقعة على ارتفاع يقارب سطح البحر بواسطة مايك باول من الولايات المتحدة، والذي سجَّل ٨ أمتار وستة وتسعين سنتيمترًا).


*Ficken, G. W. Jr. "More on Olympic Records and g."* American Journal of Physics *54 (1986): 1063.*

*Frohlich, C. "Effect of Wind and Altitude on Record Performance in Foot Races, Pole Vault, and Long Jump."* American Journal of Physics *53 (1985): 726.*

*Kirkpatrick, P. "Bad Physics in Athletic Measurements."* American Journal of Physics *12 (1944): 7.*

*McFarland, E. "How Olympic Records Depend on Location."* American Journal of Physics *54 (1986): 513.*

## (٧) حيلة لاعبي القفز العالي

على الارتفاعات العالية، تعد تقنية قفزة فوسبري هي الطريقة الوحيدة التي يمكن بها للقافز أن يجتاز القضيب. وحتى أفضل الرياضيين لا يستطيع أن يرفع مركز الجاذبية الخاص به لأكثر من حوالي ٨٠ سنتيمترًا (قدمان وسبع بوصات). وإذا بدأ مركز الجاذبية الخاص بالقافز عند ارتفاع ١٫١ متر فوق الأرض (في حالة القافز الذي يتمتع بالطول)، فإن أقصى ارتفاع يمكن تحقيقه سيكون ١٫١ متر + ٠٫٨ متر = ١٫٩ متر، أو نحو ست أقدام وأربع بوصات فوق الأرض. وعند تنفيذ قفزة ارتفاعها ثماني أقدام، سيكون مركز الجاذبية الخاص بالقافز على مسافة قدم وثماني بوصات تحت القضيب! ولهذا السبب، يكون مركز الجاذبية خارج جسد القافز عندما يلوي القافز جسده بهذه الطريقة.

## (٨) القفز بالزانة

بادئ ذي بدء، بالتأكيد على اللاعب أن يمتلك أفضل زانة (أي تلك التي تتمتع بالمرونة القصوى)، بحيث إن قدرًا أكبر من الطاقة المنقولة إلى الزانة أثناء مرحلة الانثناء المبدئية يُنقَل مجدَّدًا، بحيث يرفع القافز والزانة خلال القفزة. لكن ما الطول الذي ينبغي أن تكون عليه الزانة؟ هذا هو مربط الفرس. فالزانة الأطول تضيف المزيد من الوزن، وهو ما سيؤدي إلى إبطاء سرعة القافز قبل غرس الزانة في الصندوق مباشرة. يتناسب مربع السرعة طرديًّا مع طاقة الحركة الخاصة بمنظومة القافز بينما يقترب من موضع القفز، وسينتج عن السرعة الأقل مقدارُ انثناء أقل في الزانة وطاقة أقل يمكن نقلها إلى عملية الرفع لأعلى بواسطة الزانة.

أضِفْ إلى هذا القيد الشرط المتمثل في أن الحركة الأفقية الأمامية للقافز قُرب القمة يجب أن تكون قادرةً على تحريك جسده أفقيًّا فوق القضيب العلوي. وعندما يمسك القافز بزانة أطول ويكون موضع قبضته إلى الخلف قليلًا عما قبل، لا بد أن تكون سرعة العَدْو كبيرة بما يكفي بحيث تنثني الزانة بقدرٍ كافٍ يسمح للزانة وهي في عملية الاستقامة أن تحقِّق هذه الحركة الأفقية للقافز في التوقيت الصحيح. وإذا لم تكن سرعة العَدْو كافية، فلن يتحرك القافز للأمام فوق الطرف المغروس للزانة في الصندوق بينما تنفرد الزانة. كل قافز للزانة يحاول أن يعظِّم ارتفاع قفزته لأقصى حدٍّ عن طريق تحسين أسلوبه من خلال مزيج من سرعة العَدْو، وموضع الإمساك، والتغيرات في موضع الجسد، واختيار الزانة.

## (٩) كرة السلة

حين تهبط الكرة في شبكة السلَّة مُصدِرَة حفيفًا دون أن تصطدم بالحلقة، وقتها فقط يسهم أسلوب الدوران الخلفي للكرة في دقة الرمية، وذلك فيما يتعلَّق بالمسافة وزاوية الدخول. وتحدث القيمة العظمى للدوران الخلفي حين لا تمس الكرة الشبكة، سواء حين تسقط مباشرة في السلة أو بعد ارتطامها باللوح الخلفي. لكن لو ارتطمت الكرة بحلقة السلة، فسيُنتِج الدوران الخلفي مسافة انتقالية ضئيلة للغاية بعد ذلك، علاوة على دوران منخفض. تكشف التحليلات الفيزيائية عن أن «الكرة التي تدور دورانًا خلفيًّا ستمر دائمًا بانخفاض أكبر في الطاقة الانتقالية وفي الطاقة الإجمالية مقارنةً بالكرة التي تدور دورانًا أماميًّا.» ومن ثم، تبدو الرمية «أكثر سلاسةً» وأكثر ترجيحًا لأنْ تسقط في السلة بعد أن ترتطم في الحلقة.

*Brancazio, P. J. "Physics of Basketball."* American Journal of Physics *49 (1982): 356–365.*

*Erratum. "Physics of Basketball."* American Journal of Physics *50 (1982): 567.*

## (١٠) حركة مستحيلة!

كي تقف على أطراف أصابعك، عليك أن تحرِّك وزنك للأمام، لكن حافة إطار الباب ستمنعك من التحرك للأمام. هناك وسيلة لتحقيق هذا الأمر، لكنها ستتطلَّب أشياء إضافية. أمسِكْ جسمين ثقيلين في يديك (سَيَفِي كتابان بالغرض)، وقِفْ في الوضع الموصوف عند حافة الباب، ثم أرجِحْ ذراعيك للأمام، وقِفْ على أطراف أصابعك.

## (١١) زمن رد الفعل بالمضرب

يقول بعضٌ من أفضل الضاربين المحترفين إنهم يبدءون في تحريك مضاربهم بعد أن تخرج الكرة من يد الرامي، بينما يقول آخرون إنهم يستطيعون الانتظار لوقت كافٍ بحيث يرون الكرة وهي تدور لبضع أقدام بعد خروجها من يد الرامي. يحتاج أغلب الضاربين بضعة أجزاء من الثانية للقيام بالضربة، وهو ما يعني — في حالة الكرة

المقتربة بسرعة ٩٠ ميلًا في الساعة — أن حركة المضرب يجب أن تبدأ والكرة على مسافة لا تقل عن ٢٠ قدمًا.

ينبغي لأغلب الضاربين الهواة أن يبدءوا في تحريك مضاربهم بعد خروج الكرة من يد الرامي مباشرةً! فإن لم يفعلوا هذا فسيكتشفون سريعًا أن المضرب سيجتاز اللوحة الرئيسية التي يقف عليها الضارب بعد أن تكون الكرة قد استقرت في قفَّاز اللاقط، ما لم يملك الضارب معصمَيْن قويَّيْن يُمَكِّنَاه من تحريك المضرب بسرعة. كل ما عليك هو أن تقف على لوحة الضارب في قفص رمي تُقذَف فيه الكرات بسرعة ٨٠ ميلًا في الساعة أو أكثر كي تشعر بما سيكون عليه الأمر.

## (١٢) هل يمكن أن تغيِّر كرات البيسبول اتجاهها فجأةً؟

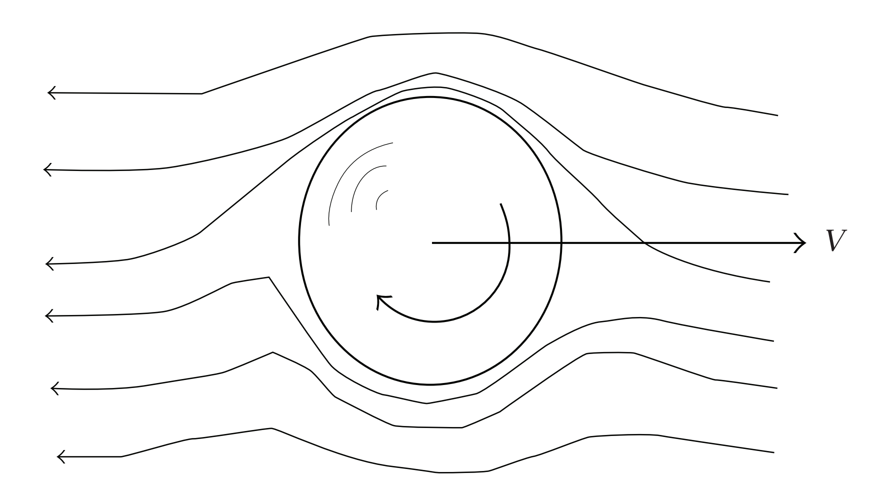
الجواب هو: نعم. في الواقع، نحو ٧٥ بالمائة من إجمالي حالات تغيير المسار تحدث خلال النصف الثاني من الرمية، بل تبلغ حالات تغيير المسار خلال الأقدام القليلة الأخيرة من الرمية نسبة هائلة مقدارها ٥٠ بالمائة! كيف يحدث هذا؟ لنأخذ حالة بسيطة ونحلِّلها؛ حالة التسارع الثابت. إذا اعتبرنا تأثير تسارع الهواء على الكرة التي تدور حول نفسها ثابتًا (بغرض التبسيط)، عندئذٍ سيكون لدينا التعبير الرياضي الشهير $s = (1/2)at^2$؛ حيث مسافة الإزاحة $s$، وقيمة التسارع الثابت $a$، والوقت المقيس بالساعة $t$. وبهذا يتناسب مقدار الإزاحة مع مربع الفترة الزمنية. على سبيل المثال، افترض أن إزاحة النصف الأول من الرمية يبلغ بوصة واحدة. في هذه الحالة ستبلغ الإزاحة الإجمالية للرمية بأكملها ٤ بوصات.

في حالة أكثر تمثيلًا، يمكن لتأثير تسارُع الهواء الناتج عن دوران الكرة حول نفسها أن يكون أكثر بروزًا قرب اللوحة مقارنةً بالتأثير المحسوب في حالة التسارع الثابت المذكورة أعلاه.

## (١٣) الكرة المقوَّسة

إذا أُلقيت الكرة المقوَّسة على النحو اللائق بواسطة رامٍ يستخدم يده اليمنى، فإن مسارها سيتقوَّس «للأسفل» بالأساس، مع بعض الحركة الإضافية إلى اليسار، بعيدًا عن الضارب الذي يستخدم يده اليمنى. وحين يستخدم الرامي يده اليسرى تتحرك الكرة المقوَّسة إلى

الأسفل وإلى يمين الرامي. يضفي الرامي على الكرة دورانًا علويًّا، بمركبي زخم زاويٍّ في اتجاهين: دوران حول المحور الأفقي تدور وفقه الكرة فوق قمتها من الخلف إلى الأمام، ومقدار يسير من الدوران حول المحور الرأسي تدور وفقه الكرة في عكس اتجاه عقارب الساعة عند النظر إليها من أعلى. وفي معظم الحالات، يُضاف بعض الدوران حول المحور الأفقي الآخر أيضًا.




يكمن تفسير المسار المقوَّس الذي تُحدِثه الكرة بواسطة الدوران وحده في تأثير ماجنوس، وهو تطبيق عملي لمبدأ برنولي. إن كرة البيسبول التي تدور حول نفسها تتسبَّب في جعل طبقةٍ رقيقة للغاية من الهواء — تسمَّى طبقة الحد — ملاصقةٍ لسطحها تدور مع دوران الكرة. والكرة التي تدور حول نفسها وتتحرك عبر الهواء تؤثِّر على الطريقة التي ينفصل بها تدفق الهواء العام عن السطح في المؤخرة؛ ومن ثم تؤثِّر على مجال التدفق العام حول الجسم. ومن هنا ينشأ تأثير ماجنوس حين يسير التدفق بدرجة أكبر حول السطح المقوَّس على الجانب المتحرك مع الرياح منه على الجانب المتحرك عكس الرياح في الفترة الزمنية عينها. يكون تدفق الهواء على الجانب العلوي لكرة البيسبول أبطأ قليلًا بينما يكون على الجانب السفلي أسرع قليلًا. ينص مبدأ برنولي على أنه ستكون هناك محصلة قوة للأسفل، وتستجيب الكرة لهذا. يتسبب الدوران حول المحور الرأسي في وجود ضغط أقل على اليسار مقارنةً باليمين؛ لذا تتحرك الكرة إلى اليسار، بعيدًا عن

الضارب الذي يستخدم يده اليمنى. بالنسبة إلى السرعات حتى ١٥٠ قدمًا في الثانية (نحو ١٠٠ ميل في الساعة) والدوران حتى ١٨٠٠ دورة في الدقيقة، يتناسب الانحراف الجانبي طرديًّا مع القوة الأولى للدوران ومع مربع سرعة الرياح.

*Adair, R. K.* The Physics of Baseball. *New York: HarperCollins, Harper Perennial, 1990.*

*Allman, W. F. "The Untold Physics of the Curveball." In* Newton at the Bat: The Science in Sports, *edited by E. W. Schrier and W. F. Allman. New York: Charles Scribner's Sons, 1987, pp. 3–14.*

*Briggs, L. J. "Effect of Spin and Speed on the Lateral Deflection (Curve) of a Baseball; and the Magnus Effect for Smooth Spheres.''* American Journal of Physics *27 (1959): 589–596. Repr., A. Armenti Jr., ed.,* The Physics of Sports, vol. 1. *New York: American Institute of Physics, 1992, pp. 47–54.*

*Watts, R. G., and A. T. Bahill.* Keep Your Eye on the Ball. *New York: W. H. Freeman, 1990.*

## (١٤) تخشين كرة البيسبول

تخشين كرة البيسبول أمر محظور؛ لأنه يمنح الرامي مزية مؤكدة. فباستخدام غطاء زجاجة أو إبزيم حزام أو ورق صنفرة أو أي شيء مشابه يستطيع الرامي تهريبه إلى مكان وقوفه، يخشِّن الرامي بقعةً ما على الكرة (عن طريق حكِّها بقوة قبالة ذلك الشيء). بعد ذلك تُلقى الكرة بحيث يكون الجزء المخشَّن على محور دوران الكرة. تعمل البقعة المخشنة على تأخير انفصال تيار الهواء، وستكون محصلة القوى الناتجة عن تطبيق مبدأ برنولي في اتجاه الجانب المخشَّن. يمكن لهذه القوة الإضافية أن تزيد القوة الجانبية بمقدار يصل إلى ٣٠ بالمائة أو أكثر! وبالتأكيد يمكن لمسار رمية كرة البيسبول أن يتغيَّر على نحو أكثر حدَّة لو شاء الرامي ذلك.

*Watts, R. G., and A. T. Bahill.* Keep Your Eye on the Ball. *New York: W. H. Freeman, 1990, p. 75.*

## (١٥) مشاهدة الرمية

رغم أن مدرب الضرب يخبرك بأن «تُبقي عينيك على الكرة»، فإنه حتى ضاربو البيسبول المحترفون يعجزون عن تتبُّع حركة الكرة المقذوفة حين تزيد سرعتها عن ٦٠ ميلًا في الساعة (٢٧ مترًا في الثانية) إلى نقطة تزيد عن ٥ أقدام من اللوحة. ولعمل ذلك، على المرء أن يدير رأسه بسرعة زاويَّة مقدارها نحو ٥٠٠ درجة في الثانية؛ وهو رقم أسرع بكثير مما يمكن لبشر تتبعه. بطبيعة الحال يمكن للمرء أن يتوقَّع مكان الكرة عن طريق النظر أمام الكرة، بحيث يشاهد الكرة وهي تصطدم بالمضرب. وبعض الضاربين يعترفون بأنهم يفعلون هذا الأمر أحيانًا.

*Watts, R. G., and A. T. Bahill.* Keep Your Eye on the Ball. *New York: W. H. Freeman, 1990, pp. 153–168.*

## (١٦) المضرب يضرب كرة البيسبول

الجواب هو: لا. تُظهر القياسات التجريبية للمضارب الخشبية وتلك المصنوعة من الألومنيوم أن الموضع على المضرب الذي يمنح السرعة العظمى لضرب الكرة ليس موجودًا عند مكان مركز الاصطدام. فأفضل استجابة تحدث عند نقطة الانتقال الأقصى للطاقة، التي تقع أيضًا إلى الخلف من مركز كتلة المضارب كلها تقريبًا.

بالنسبة إلى المضارب ذات الشكل المتماثل، يكون للمضرب المصنوع من الألومنيوم منطقة أعرض قليلًا تمثِّل السرعات العالية للكرة المضروبة مقارنةً بالمضرب الخشبي، وهذه المنطقة تكون مائلة بدرجة أكبر ناحية المقبض. وقد أفاد الضاربون بأن تلك المضارب المصنوعة من الألومنيوم تمكِّنهم من ضرب الرميات الداخلية بقوة أكبر، وهو ما يعني أن هذه الكرات تذهب لمسافة أبعد مما يكون الحال عليه حين تُضرَب بمضارب خشبية.

*Watts, R. G., and A. T. Bahill.* Keep Your Eye on the Ball. *New York: W. H. Freeman, 1990, pp. 124–125.*

## (١٧) التنفس تحت الماء

من شأن ضغط الماء عند عمق مترين أن يجعل التنفس عبر أنبوب أمرًا مستحيلًا لأي فترة زمنية، وحتى لو كان الشخص قويًّا فإنه سيجد أن استنشاق بضعة أنفاس سيسبب مشقَّة بالغة. وهذه القوى الطاغية تُنتَج بواسطة الضغط الهيدروستاتيكي، الذي عادةً ما يكون منسيًّا إلى أن يواجهه المرء وهو تحت الماء.

## (١٨) الغطس من على منصة الوثب

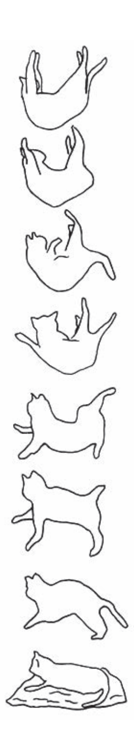
ليست هناك حاجة للبدء في اللَّف والشقلبة «كليهما» قبل ترك المنصة. فكل المطلوب هو زخم زاويٌّ غير صفري حول محور الجسد قبل البدء في النوع الثاني من الدوران. في المعتاد يكون هناك مقدار بسيط من الدوران إلى الأمام بينما يغادر لاعب الغطس المنصة، بحيث يكون متجه السرعة الزاويَّة موازيًا لمتجه الزخم الزاوي. ويستطيع اللاعب تسريع الدوران عن طريق التحرك إلى وضعية التكوير، مع الحفاظ على المتجهَيْن متوازيين. أو يستطيع لاعب الغطس البدء بدوران مع اللف حول الجسم عن طريق رفع إحدى الذراعين فوق رأسه والذراع الأخرى إلى الأسفل، بعرض الجسم. في هذه الحالة، سيستجيب الجسم عن طريق الميل عن الوضع العمودي قليلًا للإبقاء على متجه الزخم الزاوي الإجمالي من كلا الدورانين مماثلًا للقيمة والاتجاه الابتدائيين؛ نظرًا لعدم بذل أي عزم خارجي. لاحظ أن متجه الزخم الزاوي ومتجه السرعة الزاوية لم يعودا متوازيين الآن، لكن سبب هذا يمكن عزوه إلى عدم تساوي العزمين القصوريين حول المحورين المتعامدين للجسد، وحقيقة أن العزمين القصوريين من الممكن تغييرهما.

*Frohlich, C. “Do Springboard Divers Violate Angular Momentum Conservation?”* American Journal of Physics *47(1979): 583–592. Repr., A. Armenti Jr., ed.,* The Physics of Sports, vol. 1. *New York: American Institute of Physics, 1992, pp. 311–320.*

______. *“The Physics of Somersaulting and Twisting.”* Scientific American *259 (1980): 155–164.*

## (١٩) حِيَل القطط

الرسومات المبينة عبارة عن نُسخ لِلَقَطَاتٍ مأخوذة من تصوير فيلمي على فترات تقدَّر بنحو ١ / ٢٠ ثانية، وهو يوضِّح ثمانية مواضع متتابعة لقطٍّ أثناء هبوطه. لا توجد أي عزوم خارجية تؤثِّر على القط؛ لذا فإن الزخم الزاوي الصافي حول أي محور يجب أن يظل ثابتًا طوال السقوط. في الواقع، الزخم الزاوي حول أي محور يجب أن يكون صفرًا لو أن القطَّ سقط ببساطة دون أي حركة دورانية.



يمكن تفهُّم سلوك القط عن طريق التفكير في القط بوصفه يتألَّف من نصفين؛ نصف أمامي ونصف خلفي. تبيِّن الرسومات أن النصف الأمامي للقط هو الذي يصحِّح وضعه أولًا. بعد أن يسحب القط أولًا قائمتَيْه الأماميتين من أجل تقليل الزخم القصوري حول المحور الجسدي الطولي الخاص بالنصف الأمامي، فإنه يبسط قائمتَيْه الخلفيتين

بهدف زيادة الزخم القصوري للنصف الخلفي حول المحور الجسدي. بعد ذلك يدير القط النصف الأمامي بزاوية لا تقل عن ١٨٠ درجة، مع دوران النصف الخلفي في الاتجاه المعاكس عبر زاوية أقل بكثير.

ما إن يُصحَّح وضع النصف الأمامي، تتأرجح الفخذان كي تعتدلا عن طريق سحب الطرفين الخلفيين وبسط الكفين الأماميتين، على النقيض مما حدث في المرحلة الأولى. الآن يحدث دوران النصف الخلفي، مع دوران النصف الأمامي إلى الخلف قليلًا. من شأن الدوران الحاد للذيل أن يفيد، لكن حتى القطط العديمة الذيل يمكنها تصحيح وضعها قبل الهبوط.

*Essén, H. "The Cat Landing on Its Feet Revisited, or Angular Momentum Conservation and Torque-Free Rotations of Non- rigid Mechanical Systems."* American Journal of Physics *49 (1981): 756-758.*

*Fredrickson, J. E. "The Tailless Cat in FreeFall."* Physics Teacher *27 (1989): 620-621.*

*Kane, T., and M. P. Scher. "A Dynamical Explanation of the Falling Cat Phenomenon."* International Journal of Solids Structure *5 (1969): 663.*

## (٢٠) حركة رواد الفضاء

الجواب هو: نعم. يستطيع رائد الفضاء، شأنه شأن لاعب الغطس والقط، استحداث الدوران حول أي محور يختاره. ومع ذلك، لا بد أن يمتلك الجسد قدرًا من القصور أولًا؛ على غرار حركة للجذع نسبةً إلى حركة الساقين. ويستطيع المرء أن يتخذ «وضعية التكوير» من أجل الدوران حول محور الشقلبة الأمامية، أو «يدير الوركين» من أجل الدوران حول محور اللف.

*Frohlich, C. "Do Springboard Divers Violate Angular Momentum Conservation?"* American Journal of Physics *47 (1979): 583-592. Repr., A. Armenti Jr., ed.,* The Physics of Sports, vol. 1. *New York: American Institute of Physics, 1992, pp. 311-320.*

______. *"The Physics of Somersaulting and Twisting."* Scientific American *259 (1980): 155-164.*

## (٢١) الشعور بضربة الجولف

الجواب هو: نعم ولا؛ لأن الكرة تكون قد غادرت المضرب قبل أن تشعر منظومة اليد/المخ بالضربة! يمكننا حساب الوقت الذي تستغرقه موجة الصوت في الانتقال من رأس المضرب: بفرض أن المسافة تبلغ ٣ أقدام، وسرعة الانتقال ١٥ ألف قدم في الثانية، والتأخير مقداره ٠٫٠٠٠٢ ثانية. لكن الإحساس لا بد أن يذهب إلى المخ كي يتم «الشعور به»، وهو ما يضيف تأخيرًا يصل بين ١٥ و٢٠ مِلِّي ثانية. عادةً ما يكون زمن الاتصال بكرة الجولف أقل من ١٠ مِلِّي ثانية؛ لذا يتم الشعور بالضربة «بعد» أن تكون الكرة قد غادرت المضرب.

## (٢٢) الرقم القياسي للتزلُّج على الجليد

الرقم القياسي المسجل للتزلُّج على الجليد هبوطًا للتل أسرع بنحو اثنين بالمائة من سرعة السقوط الحَدِّيَّة لأسفل عبر الهواء؛ لأن المتزلج يمكنه استخدام عَصَوَي التزلج من أجل بذل قوة إضافية. يشتهر المتزلِّجون في جل فيجي في اليابان باكتسابهم سرعات ضخمة أثناء الهبوط على منحدراته!

## (٢٣) «انحنِ للأمام أيها المتزلِّج!»

بالنسبة إلى المتزلِّج، ينبغي أن يكون الجسد بمحاذاة الاتجاه المحلي «للأعلى». إذا كان الجليد عديم الاحتكاك، فإن هذا الاتجاه «لأعلى» يكون عموديًّا على المنحدر. وإذا حدث أن حمل المتزلِّج الهابط للتل على جليد عديم الاحتكاك معه شاقولًا مربوطًا بخيط، فإن موضع السكون للخيط سيكون عموديًّا على المنحدر. وإذا حاول المتزلِّج البقاء في الوضع الرأسي — أي منتصبًا — فستنزلق الزلاجات من تحت قدميه.

ومع زيادة تأثيرات الرياح بزيادة السرعة، سيرغب المتزلِّج في الميل إلى الأمام بدرجة أكبر كي يتجنَّب أن تطيح به الرياح.

*Bartlett, A. A., and P. G. Hewitt. "Why the Ski Instructor Says, 'Lean Forward!'"* Physics Teacher *25 (1987): 28–31.*

## (٢٤) الاستعداد للمنحدر أثناء التزلُّج

افترض أن المتزلِّج دخل منطقة صغيرة يتغيَّر فيها انحدار مسار التزلج بغتة، بمقدار خمس درجات أو نحو ذلك. دون أسلوب «القفزة المسبقة»، سيغادر المتزلج الأرض لنحو نصف ثانية، وسيشعر بقوة عمودية على ساقَيْه عند الاصطدام بالأرض تعادِل عدة مرات قدر وزنه. وقوة الاصطدام الكبيرة هذه يمكنها أن تؤثِّر على ثباته.

يقلِّل القفز المسبق من تأثير قوة الهبوط عن طريق محاولة إنزال المتزلج مباشرةً عند بداية الجزء الأكثر انحدارًا وعلى نحو موازٍ للمنحدر. فعن طريق رفع الزلاجتين عن الثلج على المسافة الصحيحة قبل الوصول للجزء الأكثر انحدارًا، سيبدأ جسم المتزلج في السقوط، وتستطيع الزلاجتان على نحو فوري تقريبًا ملامسة الجزء الأكثر انحدارًا بقوة اصطدام أصغر بكثير عند الهبوط. بطبيعة الحال، على المتزلج أيضًا أن يتعلَّم إدارة طرفَي زلاجتَيْه للأسفل عبر زاوية صغيرة من أجل أن يهبط بهما على نحو موازٍ.

*Hignell, R., and C. Terry. "Why Do Downhill Racers Prejump?"* Physics Teacher *23 (1985): 487–488.*

*Swinson, D. B. "Physics and Skiing."* Physics Teacher *30 (1992): 458–463.*

## (٢٥) ركوب الدراجة

إن استقصاء تفاصيل حركة الجسد لكلٍّ من العَدْو والضغط على دوَّاستَي الدراجة يمكن أن يصير عملية معقَّدة بدرجة كبيرة. لذا سنحاول عمل تقدير تقريبي منطقي يحتفظ بالعوامل الأساسية، وذلك بافتراض أن الساقَيْن تستشعران حركة متماثلة في كلتا الحالتين (لنا أن نتوقَّع أن ساقَي راكب الدراجة ستتحركان بمعدل أقل من أجل قطع المسافة عينها). خلال العَدْو، تتحرك الساقان لأعلى وأسفل، ويتحرك الجذع لأعلى وأسفل. لكن خلال ركوب الدراجة، يظل الجذع ثابتًا من المنظور العمودي، لكنَّ الساقين تتحركان لأعلى وأسفل كي تُبارِيا حركة ساقَيِ العدَّاء. إذن، على العدَّاء أن يبذل شغلًا إضافيًّا كي يحرِّك جذعه عموديًّا. ها قد حُلَّت المسألة!

التعرُّق والحرارة الإضافيَّان أثناء العَدْو يذكرانا بأن النظام الفسيولوجي يَعْرف قوانين الفيزياء هو الآخر. ومن خلال قياس متطلبات الأكسجين، توصَّل مختصو فسيولوجيا التدريب إلى أن احتياجات الطاقة تبلغ نحو ٢٦٠ كيلوجولًا لكل كيلومتر

بالنسبة إلى شخص وزنه ٧٠٠ نيوتن (نحو ١٦٠ رطلًا)، وأن احتياجات الطاقة تكون أقل كثيرًا في حالة ركوب الدراجة.

*DiLavore, P. "Why Is It Easier to Ride a Bicycle than to Run the Same Distance?"* Physics Teacher *19 (1981): 194.*

## (٢٦) أسراب الطيور

الجواب هو: نعم. فكل طائر منفرد يدفع إلى الأسفل بجناحَيْه على الهواء الموجود أدناه يخلق تيارًا هوائيًّا صاعدًا حوله. وإذا احتشدت الطيور الأخرى على مقربة، يمكنها الاستفادة من تلك التيارات الصاعدة كي تساعدها على إبقاء نفسها محلِّقة. وحده الطائر الموجود في المقدمة هو الذي سيعجز عن استغلال مزية التيار الصاعد هذه. وتكشف الحسابات عن أن السرب المكوَّن من خمسة وعشرين طائرًا يمكنه الطيران في هذا التشكيل لمسافة أبعد من الطائر المنفرد بنحو ٧٠ بالمائة.

## (٢٧) التوتر السطحي القاتل

أيُّ شخص يخرج من تحت الدش أو من حوض الاستحمام قد يحمل طبقة رقيقة من الماء تزن نحو رطل واحد (نصف كيلوجرام). وسيحمل الفأر المبتل من الماء ما يعادل وزنه! أما الذبابة المبتلَّة فستحمل ما يعادل وزنها عدة مرات في الماء، وما إن تبتل بفعل الماء فستكون معرَّضة لخطر البقاء على هذا النحو إلى أن تغرق. وهذه التبعات تأتي نتيجة نسبة السطح إلى الحجم، التي تكون كبيرة للغاية في حالة الحشرات الصغيرة، وصغيرة للغاية في حالة الحيوانات الكبيرة.

## (٢٨) سرعات عَدْو الحيوانات*

القدرة التي يولِّدها الحيوان تتناسب طرديًّا مع مساحة المقطع العرضي $L^2$ لعضلاته؛ لأن قوته تتناسب طرديًّا مع $L^2$؛ حيث $L$ الحجم الخطي للحيوان. على الأرض المستوية، القدرة مطلوبة من أجل التغلب على مقاومة الهواء، وهي قوة معاكسة تتناسب طرديًّا مع مساحة المقطع العرضي للحيوان ومع مربع سرعته $v$. وبناءً عليه فإن $F_{\text{air}} \propto L^2v^2$،

وقوة مقاومة الهواء تكون $P_{\text{air}} = F_{\text{air}} v \propto L^2 v^2$. وبجعل القوة المولَّدة مساوية للقوة المطلوبة، يدرك المرء أن السرعة $v$ تكون مستقلة عن $L$.

أما العَدْو صعودًا فيتضمَّن سرعات أبطأ؛ ومن ثم يستطيع المرء أن يتجاهل الحد الخاص بمقاومة الهواء مقارنةً بمعدل التغير في طاقة وضع الجاذبية، التي تتناسب طرديًّا مع $mgv$. إلا أن $m$ تتناسب طرديًّا مع $L^3$؛ لذا فإن معدل التغير في طاقة الوضع يساوي $L^3 v$. والآن نجد أن $v \propto 1/L$. وبهذا تستطيع الحيوانات الأصغر أن تعدو صعودًا بسرعة أكبر من الحيوانات الأكبر حجمًا.

## (٢٩) قوانين الطاقة في كل الكائنات*

قد يتوقع المرء أن متطلبات الطاقة ينبغي أن تزيد بمعدل قدره القوة الأولى لكتلة الجسم، لكن النتائج التجريبية تعطينا كتلة الجسم مرفوعة إلى القوة ٣ / ٤. لا بد إذن أن يكمن التفسير في الكيفية التي توزَّع بها الموارد المطلوبة داخل الجسم. عند الوفاء بالشروط الثلاثة التالية، فإن شرايين الجهاز الدوري وشعيراته الدموية تجعل القلب يعمل بقوة لا تزيد عن القوة المعتادة المطلوبة لتوصيل الدم إلى أنحاء الجسم.

(١) كي يصل نظام التوصيل إلى كل جزء من أجزاء جسم الكائن، يجب أن يتفرع إلى شبكة أشبه بشبكة كسرية تملأ الجسم بأكمله.

(٢) الأفرع النهائية لهذه الشبكة كلها لها الحجم عينه في جميع الكائنات.

(٣) قام التطور بضبط هذه الشبكة كي يقلل إلى الحد الأدنى الطاقة المطلوبة لتوصيل الدم.

وهناك العديد من قوانين القوة الراسخة الأخرى العديدة تتبع هذا النموذج في الخصائص البيولوجية الأخرى، على غرار التنفس البطيء في حالة الحيوانات الكبيرة الحجم، الذي يؤدي إلى معدل تنفس يتناسب عكسيًّا مع كتلة الجسم مرفوعة إلى القوة ١ / ٤.

*McMahon, T. "Size and Shape in Biology."* Science *17 (1973): 1201–1204.*

*West, G.; J. Brown; and B. Enquist, as reported by R. Pool. "Why Nature Loves Economies of Scale."* New Scientist *(April 1997): 16.*

## (٣٠) «البقعة المثالية» في مضرب التنس*

هناك في الواقع ثلاث «بقاع مثالية» على سطح مضرب التنس، وكل واحدة منها مبنية على مبدأ فيزيائي مختلف. حين تضرب الكرة أيًّا من هذه البقاع المثالية، ستكون الضربة جيدة لعدد من الأسباب المختلفة. وإلى الآن، لم يتمكَّن أحد من تصنيع مضرب تنس تتجمَّع فيه البقاع الثلاث في الموضع ذاته، وإن كانت المضارب الأكبر حجمًا تجعل هذه البقاع قريبة بعضها من بعض.

البقعة المثالية الأولى موجودة عند عُقدة التوافق الاهتزازي الأول. فحين ترتطم الكرة بالمضرب، تكون القيمة الاهتزازية الأساسية عند تردُّد مقداره نحو ٣٠ هرتز، وتُستثار تردداتها التوافقية. التردد التوافقي الأول يبلغ نحو ١٥٠ هرتز، ويكون قاعه عند المحور المركزي، إلى الأعلى قليلًا من مركز الأوتار. وحين ترتطم الكرة بهذه العقدة، يُلاحَظ الانخفاض الكبير في الاهتزاز من طرف اللاعب.

البقعة المثالية الثانية موجودة عند مركز الاصطدام؛ لذا فإن الكرة التي تضرب هذا الموضع لن تحاول أن تدير المضرب. ولا يشعر اللاعب بأي قوة التفاف عند المقبض. وهذه البقعة المثالية تقع على مسافة نحو بوصتين أسفل مركز الأوتار.

البقعة المثالية الثالثة تسمَّى نقطة مُعامِل الارتداد الأقصى. وكرة التنس التي تضرب هذا الموضع تحتفظ بالقدر الأكبر من طاقة حركتها الابتدائية. الأوتار المشدودة ستسبب المزيد من التشوُّه للكرة عند الاصطدام، وستكون طاقة الحركة عقب الاصطدام أقل. ومن طرق زيادة مُعامِل الارتداد الأقصى لمضرب التنس جعْلُ الأوتار مشدودة بقوة أقل. تقع نقطة معامِل الارتداد الأقصى على مسافة بوصة واحدة تقريبًا أعلى الحافة السفلية للأوتار.

*Brady, H. "Physics of a Tennis Racket."* American Journal of Physics *47 (1981): 816.*

## (٣١) نقرات على كرات الجولف؟*

للنقرات الموجودة على كرات الجولف دوران. فهي تتسبَّب في تقليل قوة المقاومة بشكل مفاجئ على السرعات التي تزيد بالتقريب عن ٢٥ مترًا في الثانية (٨٢ قدمًا في الثانية)، لما يعادل نصف مقدار المقاومة التي تواجهها الكرة الملساء. أيضًا تؤثِّر النقرات على الرفع

الديناميكي الهوائي. هناك أنماط مختلفة متاحة من النقرات، وبعض من أحدث الأنماط يتضمَّن نقرات ذات حجمين تغطِّي أكثر من ٧٩ بالمائة من مساحة الكرة.

رغم أن كرات الجولف غير الملساء تواجه بالفعل مقاومةً هوائية أقل — وهو ما يبدو مناقضًا للمنطق — فإن الغرض الأساسي من النقرات هو زيادة قوة الرفع الهوائي على الكرة، في حالة الدوران السفلي. كيف يمكن أن تؤدِّي خشونة سطح الكرة إلى تقليل المقاومة؟ على السرعات المنخفضة لا يحدث هذا الأمر، لكن من شأن الضربة القوية أن تجعل كرة الجولف تحلِّق بسرعة مقدارها ١٦٠ ميلًا في الساعة (٢٥٠ كيلومترًا في الساعة). والكرة المحلِّقة في الهواء تكون مغلَّفة بطبقة حَدِّية رقيقة. وإذا كانت الكرة ملساء، تكون الطبقة الحدية صفائحية؛ بمعنى أنه لا يوجد اختلاط بين الطبقات الفرعية. ينفصل التدفق الأساسي عن الكرة، منتجًا منطقة من التدفق العكسي ودوامات كبيرة في اتجاه التدفق. لكن إذا كان سطح الكرة خشنًا، فسيكون على الهواء الموجود في الطبقة الحدية أن يجتاز ارتفاعات وانخفاضات. يصير التدفق مضطربًا، وهو ما يعني وجود قدر كبير من الاختلاط وتبادل الزخم. ونتيجة لذلك، فإن الهواء الشديد السرعة المتدفق خارج الطبقة الحدِّيَّة يكون قادرًا على منح قدر من الزخم للهواء القليل السرعة الموجود داخل الطبقة الحدية. وبفضل هذه المساعدة تستطيع الطبقة الحدية المضطربة التحليق لمسافة أكبر ضد الضغط المتزايد مقارنةً بالطبقة الصفائحية. يظل التدفق الأساسي مرتبطًا بالكرة، جاعلًا المناطق الدوامية المنخفضة الضغط في جانب اتجاه التدفق أصغرَ كثيرًا مما في حالة التدفق الصفائحي. علاوةً على ذلك، لا يكون الضغط في جانب اتجاه التدفق بالانخفاض ذاته. ومن ثم فإن عدم التوازن في القوى بين جانب اتجاه التدفق وجانب الكرة المضاد للتدفق يصير أقل. يعني هذا أن مقاومة الشكل تكون أقل.

تُحدِث النقرات قوة رفع. فبإمكان الكرة استحداث حركة دورانية لطبقة رقيقة من الهواء وحسب. إضافة إلى ذلك، الطبقة الحدِّيَّة الصفائحية لا تظل حول الكرة طوال الوقت، بل تنفصل الطبقة الحدية مبكرًا في الجانب الذي يدور ضد الرياح النسبية؛ أي النصف الأسفل لكرة الجولف. تستطيع الطبقة الحدِّيَّة المضطربة تَبادل الزخم مع الرياح النسبية بدرجة أكبر بكثير من الطبقة الحدِّيَّة الصفائحية. ونتيجة لذلك، ستكون هناك قوة رفع.

*Erlichson, H. "Measuring Projectile Range with Drag and Lift, with Particular Application to Golf."* American Journal of Physics *51 (1983): 357–362.*

*MacDonald, W. M., and S. Hanzely. "The Physics of the Drive in Golf."* American Journal of Physics *59 (1991): 213–218.*

الفصل الحادي عشر

# كوكب الأرض

## (١) كاليفورنيا الباردة

ساحل كاليفورنيا الأكثر برودةً هو نتيجة قوة كوريوليس، التي تجعل كل شيء في نصف الكرة الأرضية الشمالي ينحرف إلى يمين اتجاه حركته. الرياح السائدة التي تدفع الماء نحو ساحل كاليفورنيا تأتي من الشمال الغربي، وهو ما يعني أن قوة كوريوليس تنقل الماء بعيدًا عن الشاطئ في اتجاه الجنوب الغربي. العجز الناتج عن هذا يُعوَّض بواسطة الماء البارد الآتي من أعماق تصل إلى مئات الأقدام مكوِّنًا شريطًا باردًا من الماء على امتداد الساحل. إضافة إلى ذلك، يتدفق تيار كاليفورنيا البارد من الشمال ويخفِّض درجة حرارة مياه الساحل على نحو أكبر.

## (٢) أمواج على الشاطئ

الجزء القريب من الشاطئ لكل موجة يتحرَّك عبر مياه ضحلة؛ حيث يتسبَّب الاحتكاك بالقاع في جعل الموجة تبطِّئ حركتها. ومن ثم يتحرك الجزء القريب من الشاطئ من كل موجة بسرعة أبطأ من الجزء الموجود في المياه الأعمق. وتكون نتيجة ذلك هي أن مقدمة الموجة تميل إلى أن تكون موازية لخط الشاطئ. يمكن أيضًا أن نرى أن لهذه العملية تأثيرًا يتمثَّل في تركيز طاقة الموجات ضد أي لسان من الأرض يمتد داخل البحر. وهذا تعبير حديث لمقولة البحارة القديمة: «لسان الأرض يجتذب الموجات.»

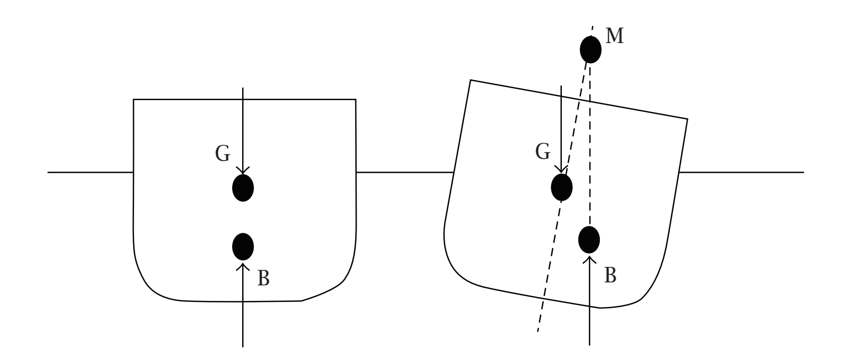
*Bascom,* W. Waves and Beaches: The Dynamics of the Ocean Surface. *Garden City, N.Y.: Doubleday, Anchor Books, 1964, pp. 70–77.*

## (٣) ألوان المحيط

مُعامِل الانعكاس الخاص بالضوء المنعكس من سطح الماء يقل حين تكون زاوية السقوط (المقيسة نسبةً إلى المستوى الرأسي) أصغر. عند النظر إلى الأسفل مباشرة، أنت تتلقَّى الأشعة المنعكسة بزوايا صغيرة للغاية. أما الأشعة المنعكسة من سطح الماء قُرب الأفق فلها زاوية سقوط أكبر نسبةً إلى المستوى العمودي؛ لذا فإن القليل منها فقط هو ما يجري امتصاصه من جانب المياه.

## (٤) ثبات السفينة

السفينة الثابتة هي تلك التي تستطيع تصحيح وضعها إذا حدث أن مالت إلى أحد الجانبين. وكما يتضح من الشكل، فإن مركز الطفو B الخاص بالسفينة يجب أن يتحرك في اتجاه الميل، بحيث إن الدفع الخاص به إلى الأعلى (وعزمه في عكس اتجاه عقارب الساعة) يمكن أن يتحد مع القوة إلى الأسفل المرتبطة بـ G؛ وهو مركز الجاذبية الخاص بالسفينة. وقتها فقط تستطيع السفينة تصحيح وضعها. يقاس ثبات السفينة بالمسافة GM بين كلٍّ من G وما يطلق عليه المركز الخلفي؛ وهي نقطة عند تقاطع الخط المركزي لبدن السفينة والخط العمودي المار بـ B. تبلغ المسافة GM الآمنة بالنسبة إلى السفينة التجارية العادية كاملة الحمولة نحو ٥ بالمائة من أكبر عرض للسفينة.



## (٥) السفن الأطول تتحرك بسرعة أكبر

تُحدث سفينة السطح أمواجًا أثناء حركتها، بما في ذلك موجة مقدمة أمامها وموجات إضافية على امتداد طولها وعند مؤخرتها. عند سرعة البدن، لا يتبقى للسفينة إلا موجة مقدَّمة وموجة مؤخَّرة، بحيث يفصل بين الموجتين طول بدن السفينة. هنا يكون من المهم أن نتذكر أنه في المياه العميقة، تنتقل الموجات الأطول بسرعة أكبر (بمعنى أن $v = \sqrt{g\lambda/2\pi}$). وحين تحاول السفينة تجاوز سرعة البدن الخاصة بها، سيكون عليها أن تخترق موجة المقدمة أو تجتازها. في هذه النقطة ترتفع متطلبات الطاقة الخاصة بالسفينة على نحو حاد، ويصير التقدم للأمام معركة متزايدة الصعوبة.

*Vogel, S. “Exposing Life’s Limits with Dimensionless Numbers.”* Physics Today *51 (1998): 22–27.*

## (٦) الجليد القطبي

القارة القطبية الجنوبية قارة أرضية بالأساس. والأرض محتفِظ رديء بالحرارة؛ إذ تشع الحرارة ما إن تمتصها (هذا السلوك يفسر سبب قسوة فصول الشتاء في الأجزاء الداخلية العميقة من القارات). أما المنطقة القطبية الشمالية فتقع فوق مياه المحيط، ومن المعروف عن الماء أن سعته الحرارية عالية، فهو يستغرق وقتًا طويلًا كي يدفأ، وما إن يدفأ فإنه يفقد حرارته ببطء. فالمنطقة القطبية الشمالية تخزن حرارة الصيف وتعيش على «مدخراتها» هذه في الشتاء.

## (٧) شمس القطب الشمالي

يمكن استنتاج الاتجاه الذي كان يواجهه الراصد عن طريق فحص الموقف عند دائرتَي عرض أخريَيْن. ففي القطب الشمالي، يكون ارتفاع الشمس ثابتًا تقريبًا خلال النهار. وبين دائرتي عرض ٣٠ و٤٥، تصل الشمس أقصى ارتفاع لها حين يكون اتجاهها إلى الجنوب مباشرة، وأقل ارتفاع لها عند كلٍّ من الشروق والغروب. وبينما نتحرك نحو الشمال، فإننا نتوقَّع تحرُّك موضِعَيِ الشروق والغروب إلى الشمال، إلى أن يتقابل الموضعان في اتجاه الشمال مباشرة منا. ومن ثم، كان الراصد يواجه الشمال.

تصل الشمس إلى أعلى ارتفاع لها حين تكون جهة الشمال مباشرة. يُعرف هذا الوقت باسم وقت الظهيرة المحلي. وبالتبعية نحصل على أقل ارتفاع عند وقت منتصف الليل المحلي.

## (٨) السير في دوائر بالقرب من القطبين

قد يحدث هذا التأثير بسبب قوة كوريوليس، التي تكون أقوى بنحو ٥٠ بالمائة عند القطبين منها عند دوائر العرض الوسطى. عند المشي فإننا نصحِّح تأثير قوة كوريوليس بسهولة ومن دون وعي تقريبًا. لكن على الجليد عديم الاحتكاك تقريبًا يكون هذا مستحيلًا. فالشخص القادر على السير بشكل ما بسرعة ٤ أميال في الساعة على الجليد العديم الاحتكاك تقريبًا سينجرف عن مساره المستقيم بنحو ٢٥٠ قدمًا بنهاية كل ميل. ونحن نسمع كثيرًا قصصًا عن أنه حتى طيور البطريق في القطب الشمالي تتهادى في مسارات منحنية جهة اليسار، لكن لا يستطيع المؤلِّفان أن يَضْمَنَا الدقة العلمية لهذه العبارة.

*McDonald, J. E. "The Coriolis Force."* Scientific American *72 (1952): 186.*

## (٩) توقعات الطقس

كل هذه التوقعات صحيحة!

(١) تقع العاصفة المَطيرة في منطقة من الضغط البارومتري المنخفض. وحين يكون ضغط الهواء أقل على جسدك، تتمدَّد الغازات الموجودة في مفاصلك وتسبِّب لك الألم.

(٢) العاصفة تكون مسبوقةً عادةً بهواء رطب. ويجب على الضفادع أن تُبقي على جلودها مبتلَّة من أجل راحتها، والهواء الرطب يمكِّنها من أن تبقى خارج الماء وتنقنق لفترات أطول.

(٣) من شأن منظومة المطر المنخفضة الضغط التي تتحرك مقتربة من منطقة ما أن تستثير رياحًا جنوبية تقلب أوراق الأشجار.

(٤) تتكون بلَّورات الجليد في السُّحب الرقيقة المرتفعة التي تسبق العاصفة المطيرة. وهذه البلَّورات تكسر الضوء القادم من القمر وتصنع حلقة حوله.

(٥) آذان الطيور والوطاويط حساسة للغاية للتغير في الضغط الجوي. والضغط المنخفض لمقدم العاصفة من شأنه أن يسبِّب لها ألمًا لو كانت تطير على ارتفاعات أعلى؛ حيث يكون الضغط منخفضًا بدرجة أكبر.

(٦) صراصير الليل ذات الدم البارد تصرصر بمعدل أكبر حين تزيد الحرارة. احسب عدد الصرصرات التي يصدرها صرصور الليل في ١٥ ثانية، ثم أضف إليها ٣٧، والرقم الناتج هو درجة الحرارة حسب التدريج الفهرنهايتي.

(٧) رطوبة الجو المرتفعة تجعل الحبال تمتص المزيد من الرطوبة من الهواء، وهذه العملية تجعل الحبال تنكمش.

(٨) تخرج الأسماك من أجل التهام الحشرات التي تطير بالقرب من الماء قبل العاصفة بسبب الضغط الجوي الأكثر انخفاضًا.

(٩) الرياح المتزايدة الشدة، التي تعد في المعتاد علامة على مجيء عاصفة، تسبب صوتَ طنين حين تهب بين أسلاك الهاتف.

## (١٠) اتجاهات الرياح

العبارة خاطئة! إذا اندفعت الرياح مباشرة نحو مناطق الضغط المنخفض، فلا يمكن أن تكون مناطق ضغط «مرتفع» أو «منخفض» قوية، وسيكون طقسنا أقل قابليةً للتغير بكثير عما هو عليه. بدلًا من ذلك، بسبب قوة كوريوليس التي يسبِّبها دوران الأرض حول نفسها، فإن الرياح الآتية من أي اتجاه تنحرف جهة اليمين في نصف الكرة الشمالي. نتيجة لذلك فإن الكتلة الهوائية التي كانت تتدفق في البداية نحو منطقة منخفضة الضغط مباشرة ستبدأ في الدوران عكس اتجاه عقارب الساعة. وهذا الدوران سيحُول بدوره دون ملء مناطق الضغط المنخفض؛ نظرًا لأن اختلافات الضغط الآن توفر قوة طرد مركزية تميل نحو الحفاظ على دوران الرياح في مسارات دائرية. وفي نصف الكرة الجنوبي تتسبب قوة كوريوليس في جعل الرياح تنحرف جهة اليسار؛ ومن ثم يكون الدوران في اتجاه عقارب الساعة.

قُرب خط الاستواء تكون قوة كوريوليس صفرًا، أو يكون مقدارها ضئيلًا للغاية. وفي تلك المناطق أيُّ اختلاف في الضغط الجوي تنتجه سخونة الهواء على الأرض سريعًا ما يُسوَّى، ولهذا السبب تستحق هذه المنطقة اسم «أرض الركود». ومن النادر أن تتكوَّن الزوابع والأعاصير في موضع يقترب من خط الاستواء بخمس دوائر عرض.

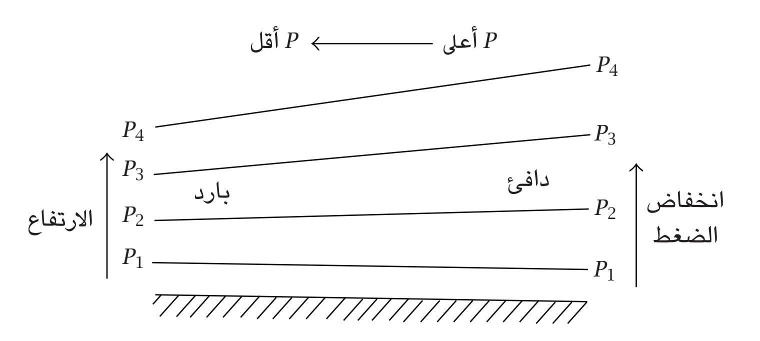
## (١١) برودة الجنوب

الأسباب الفلكية هي مدار الأرض البيضاوي. في نقطة الحضيض الشمسي — النقطة الأقرب إلى الشمس في مدار الأرض — تبعد الأرض عن الشمس نحو ١٤٧,١ مليون كيلومتر. وفي نقطة الأَوْج — النقطة الأبعد عن الشمس — تبعد الأرض عن الشمس نحو ١٥٢,١ مليون كيلومتر. الفارق صغير نسبيًّا، بيد أنه ليس مهمَلًا. ولحسن حظ نصف الكرة الشمالي، يحدث الحضيض خلال فصل الشتاء في الرابع أو الخامس من يناير، وهذا التوقيت يساعد على تلطيف التأثير الموسمي الذي يتسبَّب فيه ميل الأرض حول محورها على المستوى المداري.

العكس صحيح بالنسبة إلى نصف الكرة الجنوبي، وهو ما قد يوحي بأن النصف الجنوبي ينبغي أن يتمتع بفصول شتاء أشد برودةً وفصول صيف أشد حرارةً. إلا أن مساحة المحيطات العظيمة جنوبي خط الاستواء تعمل على تلطيف هذا التأثير. والسعة الحرارية العالية للماء تعني أنه في فصل الصيف ستدفأ المحيطات ببطء، وفي فصل الشتاء ستبرد ببطء. هذه الخاصية الفيزيائية تجعل فصول الصيف في نصف الكرة الجنوبي أقل حرارةً وفصول الشتاء أقل برودةً عما هو الحال في غيابها.

## (١٢) الجبهات الهوائية

قُرب الأرض، تكون المناطق ذات ضغط الهواء المرتفع باردةً عادةً، وتكون مناطق الضغط المنخفض دافئة. ومع ذلك، على الارتفاعات العالية، علينا أن نضع في الحسبان التفاوت في ضغط الهواء وكثافته. فبسبب الجاذبية، يتركَّز معظم الغلاف الجوي قرب الأرض. والسبب وراء عدم انهيار الغلاف الجوي بالكامل هو أن قوة الجذب إلى الأسفل المؤثِّرة على كل جُسَيم من الهواء تعادلها قوة دفع لأعلى ناتجة عن الضغط المرتفع القادم من الأسفل. وهذا التوازن في القُوى يحدث لو قلَّ ضغط الغلاف الجوي وكثافته بمعدل أُسِّي إلى الأعلى. والمعادلة الدقيقة لذلك هي $P = P_0 \exp(-mgh/RT)$؛ حيث $h$ الارتفاع و$P_0$ الضغط على مستوى الأرض. وبهذا نرى أن الضغط يقل مع الارتفاع بمعدل أقل في الهواء الدافئ عنه في الهواء البارد (انظر الشكل). ونتيجة لذلك، على أي ارتفاع يكون الضغط أعلى في المناطق الدافئة منه في المناطق الباردة.




هذا الاختلاف الأفقي في الضغط يزيد مع الارتفاع ويولِّد رياحًا حرارية. على سبيل المثال، الرياح الحرارية المرتبطة بالاختلاف في درجات الحرارة القطبية شبه الاستوائية تكون دائمًا غربية، وتجسِّد نفسها على صورة تيار نفَّاث حول قطبي، يلتف حول القطب بطريقة متموِّجة.

## (١٣) البرق والرعد

السبب الأساسي وراء قصفة الرعد وهزيمه، إلى جانب الأصوات الأخرى، هو أن صاعقة البرق تسير دائمًا في مسار ملتوٍ. بعض النقاط على هذا المسار تكون أقرب إلى الراصد من سواها؛ لهذا يستطيل صوت الرعد. فإذا كانت النقطة الأقرب أقربَ إلى الراصد بخمسة آلاف قدم من النقطة الأبعد، فسيهدر الرعد لنحو خمس ثوانٍ؛ نظرًا لأن سرعة الصوت في الهواء تبلغ نحو ألف قدم في الثانية. أيضًا، تتكوَّن صاعقة البرق عادةً من العديد من الضربات التي يتبع بعضها بعضًا في تعاقُب سريع. وقد رُصدت ثلاثون إلى أربعين ضربة على امتداد المسار عينه تفصلها فترات زمنية قدرها ٠٫٠٥ ثانية. وموجات الصوت المُنتَجة بواسطة ضربات برق متعدِّدة يتداخل بعضها مع بعض، وهو ما يؤدِّي إلى تعاظم صوت الرعد وتضاؤله.

معظم الطاقة الصوتية يُشَع عموديًّا على أي مقطع من قناة البرق. ومن ثم، إذا كانت القناة كلها تقع على زاوية قائمة على خط الرؤية الخاص بالراصد، فسيتم تلقِّي مقدار أكبر بكثير من الطاقة المُشَعَّة. والأمر المساوي في الأهمية أن جميع النقاط في القناة ستُنتِج صوتًا يصل على نحوٍ لحظيٍّ تقريبًا إلى الراصد، وتكون النتيجة صوتًا عاليَ الشدة؛ على صورة قصفةٍ أو دَوِيٍّ. تعتمد طبقة الصوت بالأساس على طاقة ضربة البرق؛

فكلما كانت ضربة البرق أقوى، كانت طبقة الصوت أشد انخفاضًا. والقيمة المعتادة لطبقة الصوت هي ٦٠ هرتز.

*Few, A. A. "Thunder."* Scientific American *233 (1975): 88–90.*

## (١٤) برق دون رعد؟

على وجه الدقة، الجواب هو: لا. لكن قد يحدث برق يكون الرعد المصاحب له غير مسموع حتى ولو على مسافة قصيرة من قناة البرق. على سبيل المثال، كانت هناك ومضات برق ضربت نُصْبَ واشنطن دون أن تُحدِث رعدًا مسموعًا من جانب الأشخاص القريبين.

إذا لم تكن هناك صعقة عائدة، وكانت الومضة تتكوَّن فقط من تيار منخفض المستوى، وهو ما يحدث أحيانًا في الومضات المستحَثَّة هيكليًّا التي تتحرك لأعلى من قمم المباني، يمكننا أن نتوقَّع توليد مقدار ضئيل للغاية من الصوت.

*Uman, M. A.* All about Lightning. *New York: Dover Publications, 1986, pp. 113–115.*

## (١٥) اتجاه ضربة البرق

بصورة ما، يفعل البرق الأمرين؛ بحيث يتجه لأعلى ولأسفل عبر قناة البرق. يبدأ التفريغ من السُّحب إلى الأرض على صورة مرشدة خطيَّة؛ شرارة خافتة متحركة للأسفل تتبع سلسلة غير منتظمة للغاية من القفزات (الخطوات)، كل قفزة تمتد لمسافة نحو خمسين مترًا. وحين تصل المرشدة إلى مسافة ١٠٠ متر تقريبًا من الأرض، تنطلق شرارات من الأجسام والمباني الموجودة على الأرض، ويكون ذلك عادةً من النقاط العليا أولًا. واحدة من هذه الشحنات المتجهة لأعلى تتصل بالشرارة المرشدة الأصلية؛ وبذا تحدِّد النقطة التي سيضرب بها البرق. عند اتصال المرشدة بالأرض، تبدأ الصعقة العائدة، التي فيها الإلكترونات الموجودة في أسفل القناة تتحرَّك بعنف شديد إلى الأرض، مسبِّبةً السطوع الشديد للقناة القريبة من الأرض. بعد ذلك تتدفق بالتتابع الإلكترونات من المقاطع الأعلى والأعلى إلى الأرض، بحيث تصل تياراتها إلى نحو ٢٠ ألف أمبير، وفي بعض الأحيان تصل إلى ٢٠٠ ألف أمبير. تتمدَّد القناة بسرعة فوق صوتية إلى قُطر ساطع يصل إلى ٥ أو ٦

سنتيمترات. قد تحتاج المرشدة الخطية ٢٠ ملِّي ثانية من أجل إحداث القناة على الأرض، لكن الصعقة العائدة تكتمل في خلال بضع عشرات من الميكروثانية. في المعتاد تتكرَّر العملية ثلاثَ أو أربع مرات، مستغلةً القناة القديمة في إنتاج ومضة برق لها سطوع مدته ٠٫٢ ثانية.

تلخيصًا نقول إن الإلكترونات في كل النقاط في القناة تتحرَّك عادةً للأسفل، رغم أن مناطق التيار العالي والسطوع العالي تتحرك للأعلى. والتأثير مشابه لتأثير جريان الرمال في الساعة الرملية؛ فبينما تتدفَّق الرمال إلى الأسفل، يُستشعَر تأثير هذا التدفق في المقاطع الأعلى والأعلى من الساعة الرملية.

*Uman, M. A.* All about Lightning. *New York: Dover Publications, 1986, pp. 73-79.*

## (١٦) مجال كهربائي خارج منزلك

الشخص الواقف خارج المنزل يشكِّل موصِّلًا أرضيًّا ممتازًا، ويُعَدُّ جلده بالأساس سطحًا متساويَ الجهد، شأن سطح أي موصِّل. وفرق الجهد على جلد هذا الشخص يكون له القيمة عينها تقريبًا في كل موضع، ويساوي تقريبًا فرق الجهد الأرضي. في بعض الحالات، قد يتدفَّق تيار كهربائي جوي صغير عبر جسده، لكن قيمة هذا التيار أصغر من «التيارات البيولوجية» الطبيعية. وفي أغلب الحالات، يعمل التباين الكبير في المعاوقة بين جسد الشخص وبين الغلاف الجوي إضافةً إلى كثافة التيار الجوي الصغيرة للغاية على منع التيارات الكبيرة حتى حين يبلغ فرق الجهد ١٠٠ كيلوفولت!

*Bering, E. A. III; A. A. Few; and J. R. Ben- brook. "The Global Electric Circuit."* Physics Today *51 (1998): 24-30.*

*Dolezaler, H. "Atmospheric Electric Field Is Too Small for Humans to Feel."* Physics Today *52 (1999): 15-16.*

## (١٧) الشحنة السالبة للأرض

تبدو الشحنة السالبة للأرض مرتبطة بحقيقة أن الجزء الأدنى للسحابة الرعدية يكون سالبًا بالأساس، ونحو ٨٥ بالمائة من صواعق البرق تحمل شحنة سالبة إلى الأرض. السحابة الرعدية المكتملة تكون ثلاثية القطب، وتقع المنطقة الرئيسية السالبة الشحنة على ارتفاع نحو ٦ كيلومترات، وتكون محاطة من الجانبين بمنطقتين موجبتي الشحنة. على مستوى الدائرة الكهربائية العالمية لكوكبنا يوجد فارق جهد شبه ثابت مقداره ٣٠٠ ألف فولت بين الأرض السالبة الشحنة والغلاف الجوي العلوي. وينقل تيار التسرب خلال الطقس الصافي — الذي تبلغ قدرته نحو ألفَي أمبير — الشحنة الموجبة على نحو متواصل من الطبقة العليا للغلاف الجوي إلى الأرض. ويبدو أن العواصف الرعدية في المناطق الاستوائية، خاصة في حوض نهر الأمازون، والتي تنقل مقادير كبيرة من الشحنة السالبة إلى الأرض، هي العامل المهيمن في إعادة شحن الدائرة الكهربائية العالمية.

*Williams, E. R. "The Electrification of Thunderstorms."* Scientific American *259 (1988): 88–89.*

## (١٨) تفاوت المجال الكهربائي العالمي

يتوافق التوقيت العالمي ١٩٠٠ مع منتصف الظهيرة في حوض الأمازون، وهي منطقة ذات نشاط عنيف للعواصف الرعدية. إن شكل التفاوت اليومي في المجال الكهربائي العالمي يتبع نشاط العواصف الرعدية الأرضية. ومعدل العواصف الرعدية ليس ثابتًا؛ لأن القارات موزعة على نحو غير منتظم من منظور خطوط الطول، وتقع العواصف الرعدية بالأساس فوق الأرض، لا الماء.

*Bering, E. A. III; A. A. Few; and J. R. Benbrook. "The Global Electric Circuit."* Physics Today *51 (1998): 24–30.*

## (١٩) نطاق استقبال موجات الراديو

تنتشر موجات التردد إيه إم لمسافة أبعد خلال الليل. وهذه الظاهرة تَنتُج عن وجود العديد من الطبقات المتأينة في الغلاف الجوي على ارتفاعات تتراوح بين نحو ٣٠ ميلًا

إلى أكثر من ١٠٠ ميل. والطبقات الدنيا إما تختفي أو تتضاءل خلال الليل؛ لأن تأيُّن الجزيئات الموجودة في الجزء الأدنى من طبقة الأيونوسفير ينخفض في غياب ضوء الشمس. وهذا يرفع مستويات الانعكاس لكلٍّ من موجات الإيه إم والموجات القصيرة، ويمكنها من قَطْع مسافات أبعد حول قوس كوكب الأرض.

## (٢٠) استقبال راديو السيارة

الترددات المنخفضة نسبيًّا (٥٣٥ كيلوهرتز إلى ١٦٠٥ كيلوهرتز) المستخدمة في البث الإذاعي بنظام إيه إم (تضمين السعة) تتوافق مع أطوال موجية تتراوح بين ٢٠٠ إلى ٥٠٠ متر. الموجات الكهرومغناطيسية بهذا الطول يَسْهُل امتصاصها بواسطة الأجسام الكبيرة. وهذا هو السبب وراء عدم رضاك عن استخدام راديو الجيب وأنت داخل مبنًى ذي هيكل فولاذي. على النقيض من ذلك، يستفيد البث الإذاعي بنظام إف إم (تضمين التردد) من الترددات المرتفعة للغاية، التي تتراوح بين ٨٨ إلى ١٠٨ ميجاهرتز. وهذه الترددات تتوافق مع أطوال موجية مقدارها نحو ٣ أمتار. في الواقع، البث الإذاعي بنظام إف إم يتوافق على نحو محكَم مع الفجوة بين القناتين التليفزيونيتين السادسة والسابعة. والإشارات في هذا النطاق الترددي، بما فيها إشارات التليفزيون، لا تُمتص بواسطة الأجسام الكبيرة. ولهذا السبب تنعكس هذه الإشارات عن هذه الأجسام، وتتشتت في كل الاتجاهات. أحيانًا قد يتم تلقِّي كلٍّ من الإشارات المباشرة والمنعكسة من المحطة عينها في الوقت ذاته. على التليفزيون يتسبب هذا في ظهور «الصور الشبحية»، وفي استيريو الإف إم يؤدي هذا إلى تشويه الإشارة أو إلى ضوضاء. ومع ذلك، باستثناء هذه الأحداث، لا يتأثر استقبال الإف إم على نحو بالغ بالأجسام الكبيرة، خاصة في المناطق التي تكون فيها الإشارة قوية.

## (٢١) أحواض استحمام مغناطيسية

في الولايات المتحدة، إذا أخذتَ إبرة بوصلة ووازَنْتَها عند محورها، بحيث يكون طرفاها حرَّينِ في الحركة إلى الأعلى وإلى الأسفل، فسترى أن الطرف الشمالي سينخفض بنحو ٦٠ إلى ٧٠ درجة عن المستوى الأفقي. ومن شأن إلقاء نظرة سريعة على الكرة الأرضية أن يقنعنا أن الطرف الشمالي يشير ببساطة على امتداد أقصرِ طريق يمر عبر الأرض

إلى القطب المغناطيسي في شمال شرق كندا. وبالمثل، النطاقات المغناطيسية في الأجسام الحديدية الساكنة تدور إلى أن تصطف، بحيث إن أطرافها الساعية إلى الشمال تشير إلى الأسفل بمقدار ٦٠ إلى ٧٠ درجة، بينما تشير الأطراف الساعية إلى الجنوب في الاتجاه المقابل تمامًا. والتأثير المُجَمَّع لملايين من هذه النطاقات المغناطيسية التي تشير جميعها إلى الاتجاه عينه يُنتِج قطبًا مغناطيسيًّا شماليًّا في أسفل الجسم، وقطبًا مغناطيسيًّا جنوبيًّا في أعلاه.

## (٢٢) دوَّامة حوض الاستحمام

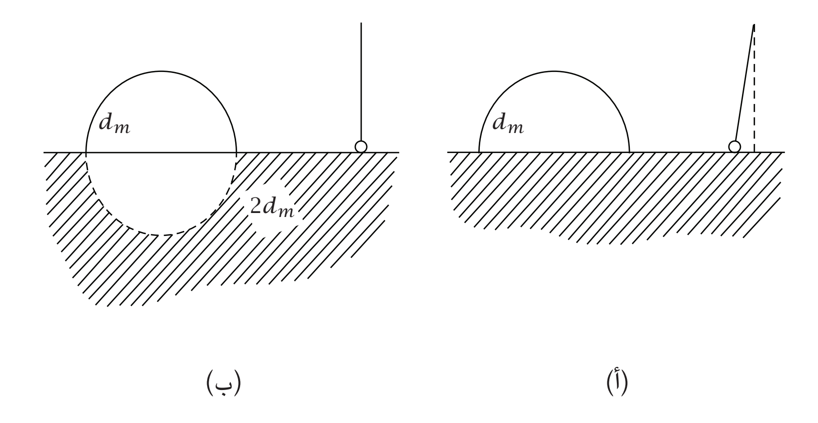
لنا أن نتوقَّع حدوث تأثير دوامة حوض الاستحمام لو كان دوران الأرض هو التأثير المهيمن. من نصف الكرة الشمالي، يكون دوران الكرة الأرضية في عكس اتجاه عقارب الساعة، بينما يكون في اتجاه عقارب الساعة إذا نُظر إليه من نصف الكرة الجنوبي. يمكن إذن اعتبار هذا التأثير بمنزلة أحد التجسيدات العديدة لعجلة كوريوليس، التي تتسبَّب في جعل الأجسام المتحركة على سطح الأرض تنحرف إلى اليمين شمال خط الاستواء وإلى اليسار جنوبه. ومع ذلك، تكون النسبة بين عجلة كوريوليس وعجلة الجاذبية بالتقريب $2\omega v/g$؛ حيث $\omega$ السرعة الزاوية للأرض. وهذه النسبة تبلغ قيمتها الأسية ١٠$^{-٥}$ في حالة سرعة الماء التي تبلغ، مثلًا، ١ متر/ثانية. ومن ثم، الأهمية النسبية لقوة كوريوليس في أحواض الاستحمام وأطباق الغسيل ليست ذات قدر يُذكر.

من الناحية العملية، يكون الوقت المستغرق قصيرًا للغاية، وتكون العوامل المتنافسة (على غرار ذاكرة الماء الطويلة المدى للاتجاه الذي يدور فيه وعدم التناظر في شكل الوعاء) عديدة للغاية، لدرجة أن أي تأثيرات من تأثيرات كوريوليس ستُمحى تمامًا. ومع ذلك، تظهر التأثيرات بالفعل بوضوح تام عندما تستخدم التجارب أوعية نصف كروية عالية التناظر وتدع الماء يرتاح ليوم أو يومين من أجل التخلص من أي حركة باقية من عملية الملء.

*Shapiro, A. "Bathtub Vortex."* Nature *196 (1962): 1080.*

*Trefethen, L. M.; R. W. Bilger; P. T. Fink; R. E. Luxton; and R. I. Tanner. "The Bathtub Vortex in the Southern Hemisphere."* Nature *207 (1965): 1084.*

## (٢٣) الجاذبية قرب الجبال




(ب) (أ)

قد تظن أن سلسلة الجبال يمكن تمثيلها بنصف أسطوانة طويلة كثافتها $d_m$ تقع على سطح مستوٍ (انظر الشكل (أ))، إلا أن هذا النموذج يتنبأ بزوايا انحراف للشاقول تكون أكبر بكثير مما يُرصد فعليًّا. افترض بدلًا من ذلك أن سلسلة الجبال يمكن تمثيلها بأسطوانة طويلة كثافتها $d_m$، تطفو على سائل كثافته $2d_m$ (انظر الشكل (ب)). في هذا النموذج يبلغ انحراف الشاقول الناتج عن وجود سلسلة الجبال صفرًا. هذا النموذج الثاني منطقي من ناحية المنظور الفيزيائي؛ فالكتلة المحتواة في النصفين العلوي والسفلي للأسطوانة مساوية تمامًا لكتلة الأرض التي كانت ستوجد في النصف السفلي للأسطوانة لو لم تكن سلسلة الجبال موجودة. وقد أقنع نجاح هذا النموذج الجيولوجيين بأن الجبال، والقارات أيضًا، تطفو على غلاف صخري.

## (٢٤) الجاذبية داخل الأرض

الجواب هو: لا. إن العلاقة الخطية البسيطة لا تنطبق على الوضع داخل الأرض الفعلية. في حقيقة الأمر، تفوق شدة مجال الجاذبية $g(r)$ قيمتها السطحية في شتى أنحاء السواد الأعظم من الحيز الداخلي؛ وذلك بسبب عدم الانتظام في كثافة الأرض. إن متوسط كثافةِ أعمقِ جزءٍ داخلي للأرض يبلغ نحو ضِعْفَي متوسط كثافة الأرض كلها. ويزيد

الضغط ودرجة الحرارة بمقدار كبير في الأجزاء الداخلية، لدرجة أن مركز الأرض يعادل في حرارته سطح الشمس!

*Hodges, L. "Gravitational Field Strength inside the Earth."* American Journal of Physics *59 (1991): 954–956.*

## (٢٥) لماذا تكون عجلة الجاذبية أكبر عند القطبين؟

يبلغ التفاوت في قيمة عجلة الجاذبية $g$ بين القطبين وخط الاستواء نحو ٥,٢ سنتيمترات/ثانية٢. وأغلب هذا التفاوت، وتحديدًا نسبة ٣,٤ سنتيمترات/ثانية٢، يرجع إلى تأثيرات قوة الطرد المركزية؛ حقيقة أنه بسبب دوران الأرض حول نفسها لا تُعَدُّ الأرض إطارًا مرجعيًّا قصوريًّا. المقدار المتبقي يبلغ ١,٨ سنتيمتر/ثانية. وثلثا هذا المقدار فقط، أو ١,٢ سنتيمتر/ثانية٢، يمكن أن يكون بسبب التغيرات في نصف القطر القطبي مقارنةً بنصف قطر كرة لها الحجم ذاته. السبب هنا فنِّي بدرجة ما؛ إذ يتضح أنه في حالة وجود تسطُّح إهليجي (على شكل مجسم ناقص) بكرة ما، وفي حالة الحفاظ على نفس الحجم ثابتًا، يقصُر نصف القطر القطبي بمقدار يزيد مرتين عن المقدار الذي يزيد به نصف القطر الاستوائي. وهنا تبين الحسابات أن ٠,٤٤ سنتيمتر/ثانية٢ فقط — وهو مقدار يبلغ نحو ثلث المقدار ١,٢ سنتيمتر/ثانية٢ الذي يجب تفسيره — يمكن عزوه إلى تسطُّح الأرض. ومعظم هذا المقدار سيأتي من حقيقة أن كثافة الأرض ليست منتظمة، وإنما تكون أكبر في مركز الأرض.

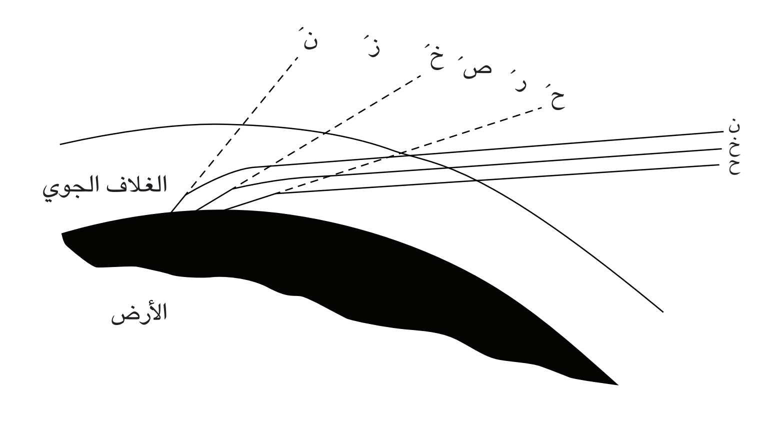
*Iona, M. "Why Is g Larger at the Poles?"* American Journal of Physics *46 (1978): 790.*

## (٢٦) الوميض الأخضر

الغلاف الجوي للأرض يسلك سلوكَ موشور عملاق؛ فهو يكسِر (يحني) مكونات ضوء الشمس، بحيث تنحني الأطوال الموجية الأقصَر (درجات اللون البنفسجي والأزرق) بدرجة أكبر مما تنحني الأطوال الموجية الأطول (درجات اللون الأحمر والبرتقالي والأصفر). ويزيد مقدار هذا التشتت الزاوي لضوء الشمس الأبيض حين يمر ضوء

الشمس عبر مقدار أكبر من الهواء قبل أن يصل إلى الراصد، وذلك عند شروق الشمس وغروبها.

يوضِّح الشكل الكيفية التي تحيد بها الأطوال الموجية الأقصَر على نحوٍ أكثر حدَّة وتبدو وكأنها آتية من نقاط أعلى في السماء مقارنةً بالأطوال الموجية الأطول. ملحوظة: منظومة العين/المخ تفترض أن شعاع الضوء ينشأ من نقطة تقع على مماس مسار الشعاع (الأحرف في الشكل تشير إلى ألوان المكونات العديدة لضوء الشمس). وبهذا يكون في طيف ضوء الشمس درجات اللون البنفسجي في الأعلى ودرجات اللون الأحمر في الأسفل. إذا كانت مساحة كبيرة نسبيًّا من قرص الشمس مرئية فوق الأفق، فإن أشعة الضوء الآتية من أجزائه المتعددة سوف تتداخل ولن يصبح ممكنًا رؤية الطَّيف، لكن بينما تأخذ الشمس في الغروب، من المفترض نظريًّا أن تتلاشى ألوان طيف ضوئها واحدًا تِلْو الآخر؛ بحيث تختفي درجات اللون الأحمر أول ما يتلاشى ودرجات البنفسجي آخر ما يتلاشى. ومع ذلك، يجب وضع تأثيرين آخرين لهما علاقة بالغلاف الجوي في الاعتبار؛ وهما: (١) امتصاص الضوء، الناتج بالأساس عن بخار الماء والأكسجين والأوزون، وهي الأشياء التي تحجب بالأساس درجات الضوء البرتقالية والصفراء، (٢) تشتت الضوء، الذي تتأثر به بالأساس الأطوال الموجية الأقصَر (درجات البنفسجي والأزرق). اللون الوحيد الذي يظل على حالته نسبيًّا هو اللون الأخضر، وهو الذي يصل إلى أعيننا. على الارتفاعات العالية، حيث يكون الهواء أكثر صفاءً في المعتاد، قد تتمكَّن الأطوال الموجية من العبور، ومن الممكن أن يكون الوميض باللون الأزرق أو البنفسجي بدلًا من الأخضر.

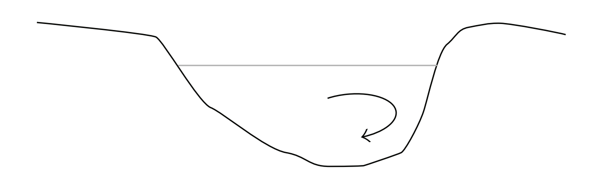


يستمر الوميض لفترة أطول لو استغرقت الشمس وقتًا أطول في الغروب؛ في الشتاء في أي مكان (نظرًا لأن مسار الشمس الظاهري يصنع أصغر زاوية مع الأفق وقتها)، وفي جميع أوقات العام قرب القطبين. في هامرسفيست، النرويج (عند دائرة عرض ٧٩ شمالًا)، قد يستمر الوميض في منتصف الصيف أربع عشرة دقيقة؛ سبع دقائق خلال غروب الشمس، وسبع دقائق أخرى خلال شروقها؛ الذي يلي الغروب مباشرة!

*Connell, D. J. K. “The Green Flash.”* Scientific American *202 (1960): 112.*
*Shaw, G. “Observations and Theoretical Reconstruction of the Green Flash.”* Pure and Applied Geophysics *102 (1973): 223.*

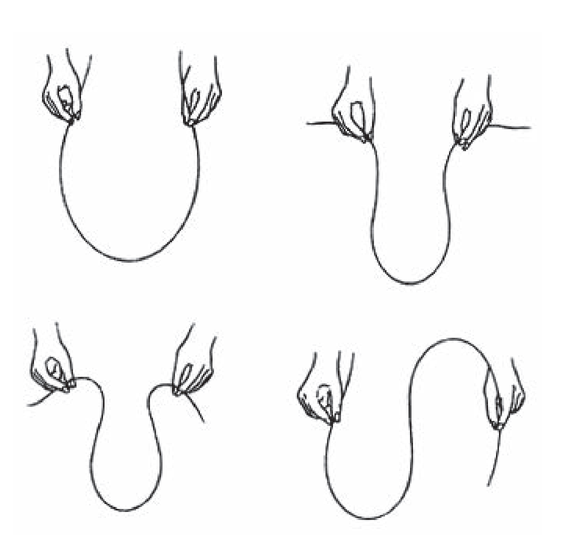
## (٢٧) الأنهار المتعرِّجة*

هناك ثلاث طرق مختلفة للنظر إلى منشأ التعرجات النهرية. الطريقة الأولى تتمثَّل في النموذج الميكانيكي. وفق هذا النموذج سنفترض حدوث انحناء طفيف في مجرى النهر بسبب قدر بسيط من عدم الانتظام في الأرض التي يجري النهر فيها. قوة الطرد المركزية التي تنشأ مع مرور الماء حول الانحناء تميل إلى قذف الماء للخارج نحو الضفة المقعرة الشكل. ولأن الماء في السطح العلوي للنهر يتباطأ بدرجة أقل بواسطة احتكاك قاع النهر، فإنه يتحرك عبر التيار نحو الضفة المقعرة ويُستبدل به من الأسفل ماءٌ يتحرك عبر قاع النهر في الاتجاه المعاكس (انظر الشكل). يواصل التيار الهابط احتكاكه بالضفة المقعرة، وفي النهاية يسبِّب تآكلها؛ وبهذا يزيد حدة الانحناء. هذه العملية كلها تجعل النهر يتخذ مسارًا يجتاز التل بدلًا من أن يتدفَّق للأسفل مباشرة. لكن في نهاية المطاف، تجذب قوة الجاذبية النهر إلى مسار هابط، مسبِّبةً انحناءً معاكسًا. وبهذا تتواصل العملية.



بالنظر إلى التعرُّجات من منظور مختلف، نجد أنها تبدو الصورة التي يبذل فيها النهر القدر الأقل من الشغل عند الالتفاف. من الواضح أن هناك شغلًا مطلوبًا لتغيير

اتجاه سائل متدفق. لكن هذا الشغل يصير في حدِّه الأدنى لو كان شكل النهر به أقل قدر إجمالي من التفاوت في تغيرات الاتجاه. هذه الخاصية يمكن توضيحها من خلال ثني شريط رفيع من صُلب الزُّنْبُركات في أوضاع مختلفة عن طريق الإمساك بإحكام بالشريط من نقطتين والسماح للطول بين النقطتين الثابتتين بأخذ أي شكل ممكن (انظر الشكل). سيتخذ الشريط شكلًا يتغير فيه الاتجاه بأقل قدر ممكن. ومن شأن هذا أن يقلِّل الشغل الإجمالي لعملية الثني؛ نظرًا لأن الشغل المبذول في كل عنصر من عناصر الطول يتناسب طرديًّا مع مربع مقدار الانحراف الزاوي الخاص به. لا تأخذ الثنيات شكل أقواس دائرية، أو أقواس على شكل قطع مكافئ، أو على شكل منحنى جيب، وإنما تأخذ شكل دوالَّ خاصة تُعرف بدوال التكامل الإهليجي (القطع الناقص).



النموذج الثالث للتعرجات يأتي من تحليل مسار النهر من منظور العشوائية والاحتمالية. من الممكن أن نثبت أن أيَّ خط ذي طول ثابت يمتد بين نقطتين ثابتتين من المرجَّح أن يسلك مسارًا متعرجًا. ويتكوَّن البرهان من توليد طرق أو مسارات عشوائية يمكن فيها لنقطة متحرِّكة أن تندفع في اتجاه تحدِّده عملية عشوائية ما (على سبيل المثال، إلقاء نَرْد أو تتابع لأرقام عشوائية في جدول) بينما تواصل رحلتها بين نقطتين

ثابتتين في عدد محدد من الخطوات. والطريق الذي يحظى بأعلى احتمالية لمثل هذه النقطة المتحركة هو النمط الأفعواني المتعرج، بأبعاد مشابهة لتلك الموجودة في الأنهار.

*Einstein, A. "The Cause of the Formation of Meanders in the Courses of Rivers and the So-Called Beer's Law." In* Essays in Science. *New York: Philosophical Library (1955), pp. 85–91.*

*Leopold, L. B., and W. B. Langbein. "River Meanders."* Scientific American *214 (1966): 60.*

## (٢٨) الحصول على الطاقة من البيئة المحيطة*

مخزون الطاقة هو سماء الليل! فمن شأن العاكس الإهليجي الذي في بؤرته جسم مدهون باللون الأسود («أسود» هنا من منظور الأشعة تحت الحمراء؛ لأن اللون الأسود في الضوء المرئي لا يعني دومًا الأمر ذاته)، والموجَّه إلى سماء الليل؛ أن يشعَّ في نطاق الأشعة تحت الحمراء بدرجة حرارة محيطة تبلغ ٣٠٠ درجة كلفنية مثلًا. سيتلقَّى هذا العاكس قدرًا قليلًا من الإشعاع من سماء الليل، الذي يمكن اعتباره بمنزلة إشعاع جسم أسود بدرجة حرارة قدرها ٢٨٥ درجة كلفنية. ونتيجة لذلك، ستنخفض درجة حرارة الجسم الموضوع في البؤرة، وإذا كان معزولًا حراريًّا عما يحيط به، فستقترب درجة حرارته في النهاية من ٢٨٥ درجة كلفنية. وبإمكاننا استخدام فارق الحرارة الناتج في تشغيل محرك حراري أو استخلاص الطاقة بسبل أخرى (من خلال التأثيرات الكهروحرارية على سبيل المثال).

*Ellis, G. F. R. "Utilization of Low-Grade Thermal Energy by Using the Clear Night Sky as a Heat Sink."* American Journal of Physics *47 (1979): 1010.*

## (٢٩) درجة حرارة الأرض*

لا يوجد خطأ، لكننا أغفلنا شيئًا ما. إن درجة حرارة التوازن $T$ تحدَّدت وفق المعادلة التالية: الطاقة المُمتصة – الطاقة المُشَعَّة، أو $S(1-A)\pi R^2 = \sigma T^4(4\pi R^2)$؛ حيث $S$

= ١,٤ × ٦١٠ إرج سنتيمتر<sup>−٢</sup> ث<sup>−١</sup> هو الثابت الشمسي، و$A$ = ٠,٣ هو القيمة المعتادة لانعكاسية الأرض أو وضاءتها. الطاقة الممتصة تكون عادةً في الجزء المرئي من الطيف، بينما الطاقة المُشَعَّة إلى الفضاء تكون في الغالب على صورة أشعة تحت حمراء. وهنا أساس المشكلة؛ إذ إننا تغاضينا تمامًا عن تأثير الصوبة! فرغم أن الغلاف الجوي شفاف بدرجة كبيرة عند الأطوال الموجية الخاصة بالضوء المرئي، فإنه ليس بهذه الشفافية في نطاق الأشعة تحت الحمراء. وحين نحسب مقدار الإعتام الذي تتسبَّب به الغازات الممتصة للأشعة تحت الحمراء كبخار الماء وثاني أكسيد الكربون والميثان ومُركَّبات الكلوروفلوروكربون، سنخرج وقتها بالجواب الصحيح.

*Sagan, C. "Croesus and Cassandra: Policy Response to Global Warming."* American Journal of Physics *58 (1990): 721.*

## (٣٠) تأثير الصوبة*

كلا الفريقين له وجهة نظر منطقية اعتمادًا على الظروف المحدَّدة. بالنسبة إلى منظومة مُجمِّعة لأشعة الشمس على غرار الصوبة أو الغلاف الجوي للأرض، فإن الحرارة المنقولة بالحَمْل (بالواط/متر[٢]) هي $h\Delta T$؛ حيث $\Delta T$ الفارق بين درجة الحرارة بالخارج ودرجة الحرارة التشغيلية للمنظومة المُجمِّعة، و$h$ ثابت النسبة الذي يزداد بزيادة سرعة الرياح. الطاقة المنبعثة بسبب الإشعاع مساوية تقريبًا لـ $4\sigma T^3 \times T$؛ حيث $\sigma$ ثابت ستيفان بولتزمان. حين يكون الهواء ساكنًا، يكون فقْد الإشعاع أكبر بدرجة طفيفة، لكن حين تهب الرياح بسرعة نحو ٧ أمتار/ثانية، وهي قيمة تقليدية يستخدمها مهندسو التدفئة لحساب فقْد الحرارة في الشتاء، يزيد فقْد الحَمْل إلى نحو خمس مرات مقدار الفقد بسبب الإشعاع.

إذا غُطيت المنظومة المُجمِّعة بمادة شفافة للأشعة تحت الحمراء، يقل فقْد الحَمْل بمقدار النصف (في حالة الهواء الساكن)، لكن يظل الفقد بسبب الإشعاع دون تغيير ويصير هو العامل المهيمن. ومع ذلك، يمكن حبس الإشعاع بفعالية لو أننا استخدمنا مادة تنقل الضوء المرئي وتعكس الأشعة تحت الحمراء. هذا النوع من المواد موجود بالفعل، لكنه يكون مكلِّفًا في المعتاد.

*Young, M. "Solar Energy: The Physics of the Greenhouse Effect."* Applied Optics *14 (1975): 1503.*

______. *“Questions Students Ask: The Greenhouse Effect.”* Physics Teacher *21 (1983): 194.*

## (٣١) قياس حجم الأرض*

تتطلَّب هذه الطريقة رؤية واضحة لغروب الشمس من على شاطئ يُطِل على محيط أو بحيرة كبيرة (ملحوظة: لأغراض السلامة، من الأفضل تجنُّب التحديق مباشرة في قرص الشمس إلى أن يكون بكامله تقريبًا أسفل الأفق). استلقِ بحيث تكون عيناك في مستوى الماء. انتظر اللحظة التي ينكمش فيها «آخر شعاع» للشمس (أفقيًّا) بشكل مفاجئ ويختفي (مستعينًا بساعتك). قف على الفور، وسجِّل مرة ثانية الوقت الذي يختفي فيه آخر شعاع لغروب الشمس للمرة الثانية. اطرح الرقم الأول من الثاني بحيث يكون لديك الزمن المنقضي بين الحدثين (يكون في المعتاد ١٠ ثوانٍ أو ٢٠ ثانية). الآن، (أ) اقسم ارتفاع العين $h$ (بالمتر) على مربع الزمن المنقضي $t$، ثم (ب) اضرب الناتج في ٣٧٨. الرقم الناتج هو تقديرك الخاص لنصف قطر الأرض، مُعبرًا عنه بالكيلومتر. ربما ترغب في استخدام التعبير التقريبي الأكثر اكتمالًا لنصف قطر الأرض $R \approx h/(\omega^2\cos^2\theta t^2)$؛ حيث $\theta$ ارتفاعك، والمعامل ٣٧٨ هو قيمة $\omega^2$ عند خط الاستواء بالوحدات المُعطاة.

*Rawlins, D. “Doubling Your Sunsets, or How Anyone Can Measure the Earth’s Size with Wristwatch and Meterstick.”* American Journal of Physics *47 (1979): 126.*

*Walker, J. “How to Measure the Size of the Earth with only a Foot Rule or a Stopwatch.”* Scientific American *240 (1979): 172.*

الفصل الثاني عشر

# الكون

## (١) رؤية الأقمار الصناعية

لا يُرى القمر الصناعي إلا لو كان فوق الأفق وكانت الشمس تلقي الضوء عليه من أسفل الأفق. وحين تكون الشمس في كبد السماء فإنها تسطع بدرجة شديدة تمنع رؤية القمر الصناعي. وبما أن العديد من الأقمار الصناعية، بما فيها تلك المستخدَمة في أغراض الاستطلاع، لها مدارات قريبة من القطبين، فمن السبل اليسيرة لرؤية أحد الأقمار الصناعية البحث في سماء الليل قُرب نجم الشمال.

## (٢) قمر صناعي مُحتضَر

من قبيل المصادفة أن مدار أقرب قمر صناعي — ذلك المدار الذي يعلو بالكاد فوق الغلاف الجوي — يستغرق نحو تسعين دقيقة. ولأن الدقائق التسعين تعادل تمامًا واحدًا على ستة عشر من طول اليوم، أو دوران الأرض من تحته، فبعد مرور ٢٤ ساعة سيعود القمر الصناعي للظهور في النقطة عينها تقريبًا في السماء.

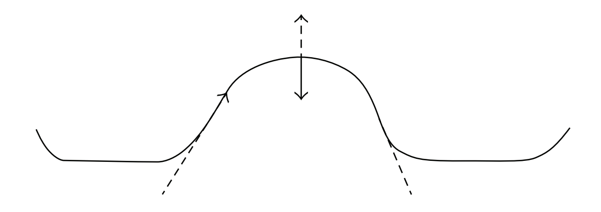
## (٣) كيب كانيفرال

اختِيرَت قاعدة كيب كانيفرال بسبب امتداد المحيط بينها وبين ساحل جنوب أفريقيا لمسافة ٥ آلاف ميل دون أي أراضٍ. لهذه الحقيقة أهمية كبيرة؛ لأنها تسمح للمرحلتين الأُولَيَين للصواريخ ذات المراحل الثلاث المُطلَقَة فوق المحيط الأطلنطي بالسقوط في الماء دون أن توجد سوى احتمالية ضئيلة للسقوط على مناطق مأهولة. وبالمثل، في حالة

إطلاق مكوك الفضاء، ستحتاج الصواريخ الدافعة إلى أن تهبط بمعاونة المظلات في المحيط كي يتم التقاطها وإعادة استخدامها.

لماذا وقع الاختيار على الساحل الشرقي للإطلاق لا على الساحل الغربي؟ يمدُّنا دوران الأرض حول نفسها بالجواب. إن الصاروخ الرابض على الأرض في قاعدة كيب كانيفرال يُحمَل جهة الشرق بسرعة ٩١٠ أميال في الساعة. وقد حُسبت هذه السرعة بقسمة المسافة حول الأرض عند دائرة عرض كيب كانيفرال (دائرة عرض ٢٨,٥ شمالًا) — وتبلغ ٢١٨٠٠ ميل — على ٢٤ ساعة. القمر الصناعي الذي سيوضع في مدار منخفض يجب أن يتحرك بسرعة ١٧٣٠٠ ميل في الساعة. وإذا كان بالفعل يتحرك بسرعة ٩١٠ أميال في الساعة وهو على الأرض، فإن السرعة الإضافية المطلوبة تبلغ ١٦٤٠٠ ميل في الساعة وحسب. وفي الوقت الحالي، منصة الإطلاق الموجودة في جويانا الفرنسية (دائرة عرض ٥ شمالًا) هي التي تستغل مزية دفعة التحرك إلى الشرق الناتجة عن دوران الأرض حول نفسها الاستغلال الأمثل. على النقيض، قاعدة بايكونور لإطلاق الصواريخ (دائرة عرض ٤٥,٩ شمالًا)، والواقعة شرقيِّ بحر آرال في كازاخستان، هي الأقل استفادةً من مزية دوائر العرض. وقد تمكنت عمليات الإطلاق الحديثة من سفينة عند خط الاستواء في المحيط الهادي من استغلال دوران الأرض حول نفسها الاستغلال الأمثل.

## (٤) انعدام الوزن داخل طائرة



يمكن أن تتحقق حالة انعدام الوزن حين تحلِّق الطائرة في مسار أفعواني مضبوط بإحكام يقارب ذلك الموصوف في الجواب (ج). قُرْبَ قمة كل حلقة على شكل قطع مكافئ تعمل قوة الطرد المركزية (السهم المتقطع) التي تظهر في الإطار المرجعي الخاص بالطائرة على إلغاء قوة الجاذبية الخاصة بالأرض (السهم المتصل)، ويصير رُكَّابُ

الطائرة عَدِيمي الوزن. لو بدا هذا صعبَ التصديق، اصنع ثقبًا في قاع عُلبة معدنية، واملأها بالماء، وألقِها بزاوية على الأرض. لن يخرج أي ماء من العُلبة أثناء تحليقها في الهواء!

تنتهي حالة انعدام الوزن قُرب قاع الحلقة، وعلى مدار ٤٠ إلى ٥٠ ثانية تالية تصعد الطائرة لأعلى، ضاغطة الركاب للأسفل بقوة مقدارها $2g$ (أي ضعف عجلة الجاذبية). في رحلات ناسا التدريبية لرواد الفضاء المستقبليين، قد تستمر هذه الرحلة الأفعوانية لمدة ساعة. وبإمكاننا أن نتفهم السبب وراء تسمية طائرات بوينج النفاثة القديمة المستخدمة لهذا الغرض بالاسم «مذَنَّبَات القيء».

## (٥) شمعة في حالة انعدام وزن

بُحث هذا الأمر على متن محطة الفضاء الأمريكية «سكايلاب» عامي ١٩٧٣–١٩٧٤م. وخلافًا للتوصيفات الشائعة، تستطيع الشمعة أن تحترق بالفعل في غياب الجاذبية، وإن كانت ستحترق ببطء.

على الأرض، تواصل الشمعة الاحتراق بسبب الحمل الحراري: فالهواء الدافئ فوق الشمعة يرتفع (يُدفَع لأعلى بواسطة الهواء الأشد كثافة أدناه)، وهو ما يتسبب في سحب المزيد من الهواء عند قاع الشمعة؛ ومن ثم يعاد تزويدها بالأكسجين. تيار الحمل الصاعد يسبب استطالة لهيب الشمعة بحيث يتخذ شكله المألوف. في حالة انعدام الوزن لا يوجد حمل حراري؛ لذا سيكون اللهيب كروي الشكل تقريبًا. وسيحدث الاحتراق فقط في طبقة كروية رقيقة، في الموضع الذي تلتقي فيه أبخرة الوقود المنتشرة الهابطة لأسفل بالأكسجين المنتشر المتجه للداخل. هذا القيد يقلِّل من معدل الاحتراق بشكل بالغ. هنا نفترض أنه لا وجود لتيارات هوائية توفر المزيد من الأكسجين للفتيل. لكن ليست هذه هي الحالة على متن مكوك الفضاء؛ حيث تعمل المراوح على تدوير الهواء كي تبرِّد الأجهزة الإلكترونية الموجودة في قُمرة القيادة. لذا على متن مكوك الفضاء ستحترق الشمعة بمعدل أسرع.

## (٦) غلي الماء في الفضاء الخارجي

على الأرض، عادةً ما نسخِّن الماء عن طريق الحمل الحراري. فلأن الماء المُسخَّن في قاع الغلاية (قرب مصدر الحرارة) يكون أكثر كثافةً، فهو يُزاح إلى الأعلى ويحل محله الماء

البارد، الذي يهبط للأسفل، ثم يُسخَّن ثم يرتفع مجددًا. وتيارات الحمل الحراري هذه تخلط الماء الدافئ بالماء البارد على نحو فعال.

لا توجد تيارات حمل حراري في حالة انعدام الوزن. وعلى فرض أن الجدار الجانبي للغلاية له موصلية حرارية سيئة للغاية، وأنه لا يتم استخدام أداة تقليب، فلن يُسخَّن الماء الموجود بالأعلى إلَّا عن طريق التوصيل، وهي عملية بطيئة في الماء.

## (٧) المدى الأقصى

من قبيل المفارقة أنه من الأفضل للمركبة الفضائية أن تُطلَق حين تكون الأرض في أقرب موضع في مدارها إلى الشمس؛ وذلك كي تصل المركبة إلى أبعد مدى ممكن داخل المجموعة الشمسية؛ أي حين يكون كوكب الأرض في نقطة الحضيض. فباختيار موعد الحضيض (نحو الثالث من يناير)، حين تتحرك الأرض بأقصى سرعة لها في المجموعة الشمسية، ستحصل على أقوى دفعة ممكنة من السرعة المدارية للأرض.

## (٨) تأثير مقاومة الهواء على الأقمار الصناعية

مبدئيًّا، تستطيع مقاومة الهواء أن تزيد من سرعة القمر الصناعي! فبالنسبة إلى المدار الدائري، تكون الطاقة الإجمالية لقمر صناعي ذي كتلة $m$ هي $E = -GMm/2r$؛ حيث $r$ نصف قطر المدار. طاقة الوضع هي $2E$، بينما طاقة الحركة هي $-E$. ومن ثم، مقابل كل وحدة من الطاقة «المفقودة» بسبب مقاومة الغلاف الجوي، سوف «يفقد» القمر الصناعي وحدتين من طاقة الوضع بينما يدور على نحو حلزوني للأسفل، لكنه سوف «يكتسب» وحدة من طاقة الحركة. لكن هذه العملية لا يمكن أن تستمر بلا نهاية. فتدريجيًّا، ستصير قوة المقاومة أشد وأشد، بينما تزيد قوة الجاذبية على نحو طفيف، وفي النهاية لا تصير المقاومة مجرد اضطراب بسيط، وإنما تهيمن بالكامل على الصورة. حينها ستعمل مقاومة الهواء بمنزلة قوة كابحة حقيقية، وتبطئ من سرعة القمر الصناعي بينما يندفع نحو الأرض.

لاحِظْ أنه في حالة المدار البيضاوي تكون المقاومة في أقوى صورها عند نقطة الحضيض؛ حيث يكون كلٌّ من السرعة وكثافة الغلاف الجوي في أقصاهما، وتكون

المقاومة في أضعف صورها عند نقطة الأَوْج. وبسبب هذا الاختلاف، سيصير المدار أكثر دائريةً بينما يأخذ في الانكماش.

*Berman, A. I.* Space Flight. *Garden City, N.Y.: Doubleday, Anchor Press, 1979, pp. 85–88.*

*Blitzer, L. "Satellite Orbit Paradox: A General View."* American Journal of Physics *39 (1971): 882.*

## (٩) الانفصال

في المعتاد يكون صاروخ الإطلاق أكبر من القمر الصناعي. ونتيجة لذلك، فهو يواجه قدرًا أكبر من مقاومة الهواء ويفقد ارتفاعه ببطء. وخلال ذلك، يحوِّل الصاروخ بعضًا من طاقة الوضع الخاصة به إلى طاقة حركة متزايدة؛ وهو ما يعني اكتسابه المزيد من السرعة. وهذه السرعة المتزايدة تأتي نتيجة لمبدأ حفظ الطاقة.

## (١٠) تغيير المدار: الدفع الشعاعي

قد يظن المرء أن المدار سوف يستطيل في اتجاه الدفعة، لكن في حقيقة الأمر سيستطيل المدار في الاتجاه العمودي على الدفعة، كما هو مبين في الشكل (جـ).

لتفهم هذه النتيجة المناقِضة للمنطق، قارِنْ بين المدارين. عند الامتثال لقانون حفظ الزخم $mvr$، ستحدث السرعة القصوى عند نقطة الحضيض. في حالة المدار (ب)، تشير السرعة $v_{max}$ أفقيًّا إلى اليمين، وفي حالة المدار (جـ) ستشير رأسيًّا إلى أعلى؛ أي في اتجاه الدفعة. ومن ثم سينتج الدفع الشعاعي المدار (جـ)؛ نظرًا لأن السرعة القصوى يجب أن تكون في نفس اتجاه الدفعة. لاحظ أن من شأن دفعة شعاعية داخلية في قاع الدائرة الأصلية أن تنتج التأثير عينه.

*Abelson, H.; A. diSessa; and L. Rudolph. "Velocity Space and the Geometry of Planetary Orbits."* American Journal of Physics *43 (1975): 579.*

## (١١) تغيير المدار: الدفع المماسي

كما في المسألة السابقة، قد يقترح الحدْس أن المدار سوف يستطيل في اتجاه الدفعة. وكما في المسألة السابقة، سيستطيل المدار لكن في اتجاه عمودي على الدفعة، كما هو مبين في الشكل (جـ).

قارن بين المدارين. ستحدث السرعة القصوى عند نقطة الحضيض. في حالة المدار (ب)، تشير السرعة $v_{\text{max}}$ رأسيًّا إلى أعلى، وفي حالة المدار (جـ) ستشير أفقيًّا إلى اليسار؛ أي في اتجاه الدفعة. ومن ثم سينتج الدفع المماسي المدار (جـ)؛ نظرًا لأن السرعة القصوى يجب أن تكون في نفس اتجاه الدفعة.

*Abelson, H.; A. diSessa; and L. Rudolph. "Velocity Space and the Geometry of Planetary Orbits."* American Journal of Physics *43 (1975): 579.*

## (١٢) سرعات العادم

الجواب هو: نعم. هذه الحقيقة المناقضة للمنطق يمكن تفهُّمها حين ندرك أن غازات العادم تخرج دائمًا بنفس السرعة نسبةً إلى الصاروخ، بينما تتزايد سرعة الصاروخ على نحو ثابت. من الواضح أنه في نقطة ما ستتجاوز سرعة الصاروخ إلى الأمام سرعة الغازات إلى الخلف، ونسبةً إلى الأرض ستبدأ الغازات في التحرك إلى الأمام. من الناحية الرياضية، يمكننا اشتقاق معادلة من أجل السرعة $v$ الخاصة بالصاروخ في أي زمن $t$ بعينه على صورة دالة للكتلة الابتدائية $m_0$ للصاروخ، وكتلة الصاروخ $m$ في الزمن $t$، والسرعة $v_{\text{ex}}$ لغازات العادم نسبة إلى الصاروخ. وتكون المعادلة ببساطة هي $v = v_{\text{ex}} \ln (m_0/m)$ في الحالة المثالية. ومن السهل أن نرى من هذه المعادلة أنه ما إن يَكُنِ الصاروخ قد حرق وقوده وصولًا إلى النقطة التي تكون فيها $m_0/m > e$، فإن $v$ تصير أكبر من $v_{\text{ex}}$، وأنه نسبة إلى الأرض، تتحرك غازات العادم في نفس اتجاه حركة الصاروخ.

## (١٣) وضعية الإطلاق

يتفاوت تأثير عجلة الجاذبية على الجسم البشري اعتمادًا على إذا ما كان رائد الفضاء جالسًا في اتجاه العجلة، بحيث يُدفَع جسده من الرأس إلى القدمين، أو إذا كان متخذًا

وضعية الاستلقاء، بحيث يكون الرأس والقلب في نفس المستوى النسبي من منظور قوى العجلة. في وضعية الجلوس، يحدث فقدان الوعي عند عجلة تتراوح بين 4 و$8g$، اعتمادًا على المدة وعلى ما إذا كان رائد الفضاء يرتدي بذلة مقاومة للعجلة. على الجانب المقابل، في وضعية الاستلقاء يستطيع رائد الفضاء تحمُّل قوة عجلة تصل إلى $17g$ لفترات قصيرة من الوقت دون أن يفقد الوعي.

عند إطلاق مكوك الفضاء، يستشعر رواد الفضاء عجلة مقدارها $1.6g$، علمًا بأن عجلة مقدارها $1g$ تعني تغير السرعة بمقدار ٩,٨ أمتار في الثانية خلال كل ثانية. بوحدات القياس البريطانية، تعني عجلة مقدارها $1g$ حدوث تسارع منتظم من سرعة صفر إلى ٦٠ ميلًا في الساعة في ٣ ثوانٍ. على سبيل المقارنة، تتسارع الطائرة النفاثة العادية بعجلة مقدارها $0.33g$ على امتداد الممر قبل الإقلاع. تتفاوت قوة العجلة بينما يرتفع المكوك لكنها لا تتجاوز $3g$ مطلقًا. وأخيرًا، بعد مرور ثماني دقائق ونصف على الرحلة، ينفصل المحرك الأساسي، وفي كسر من الثانية تهبط العجلة من $3g$ إلى انعدام الوزن. وعلى سبيل المقارنة، خلال السواد الأعظم من رحلة إعادة الدخول للغلاف الجوي، لا تصل قوة العجلة لهذا الارتفاع مطلقًا. والحد الأقصى يكون في المعتاد $1.5g$.

*Mullane, R. M.* Do Your Ears Pop in Space? and 500 Other Surprising Questions about Space Travel. *New York: John Wiley & Sons, 1997, pp. 53–54.*

## (١٤) الإفلات من الأرض

الجواب هو: نعم، سيظل الصاروخ قادرًا على الإفلات. إن الطاقة الإجمالية لصاروخ كتلته $m$ وسرعته $v$ على سطح الأرض التي لها نصف القطر $R$ هي $(1/2)mv^2 - GMm/R$. الحد الأول لهذه المعادلة هو طاقة الحركة الخاصة بالصاروخ، والحد الثاني هو طاقة الوضع السالبة للصاروخ في بئر الجاذبية الخاص بالأرض. من أجل الإفلات من كوكب الأرض، يجب أن يمتلك الصاروخ من طاقة الحركة ما يكفي، بحيث تكون طاقته الإجمالية إما صفرًا أو رقمًا موجبًا؛ أي إن $(1/2)mv^2 - GMm/R \geq 0$. هذا الشرط لا علاقة له باتجاه السرعة $v$؛ لذا لا يهم في أي اتجاه يشير الصاروخ. فإذا كانت الطاقة الإجمالية صفرًا، يتخذ الصاروخ مسارًا على شكل قطع مكافئ.

من الناحية العملية، بالنسبة إلى السرعات التي تقل عن ١١٫٢ كيلومترًا في الثانية، يكون الإطلاق الأفقي أفضل كثيرًا من الناحية الاقتصادية. أولًا: إذا كان مسار الرحلة في اتجاه الشرق، فإن السرعة الفعالة للصاروخ ستزيد بفعل سرعة سطح الأرض عن دائرة العرض التي أُطلق منها. ثانيًا: المسار الأفقي للرحلة يوفر أكبر قدر ممكن من الزخم الزاوي، وهو ما يبسط عملية توافق السرعات مع مركبة تدور حول الأرض أو مع كوكب كالمريخ، يتحرك في الاتجاه عينه.

ومن المثير للاهتمام أن القدر الأدنى المطلوب من السرعة للإفلات من منظومة الأرض/الشمس لا يعتمد على زاوية الإطلاق نسبةً إلى سرعة الأرض المدارية. والحل الأمثل، في ظل سرعة إطلاق لا تقل عن ١٦٫٦ كيلومترًا في الثانية، هو أن يتم الإطلاق على امتداد اتجاه حركة الأرض. لاحِظْ أن هذه السرعة تقل كثيرًا عن السرعة المغلوطة البالغة ٤٢ كيلومترًا الموجودة عادةً في الكتب الدراسية والمطلوبة للإفلات من الشمس، وذلك بداية من مسافة مقدارها وحدة فلكية واحدة. وعند الإطلاق شعاعيًّا بعيدًا عن الشمس، يكون الحد الأدنى لسرعة الإفلات هو ٥٢٫٨ كيلومترًا في الثانية.

*Berman, A. I.* Space Flight. *Garden City, N.Y.: Doubleday. Anchor Press, 1970, pp. 56–57.*

*Diaz-Jimenez, A., and A. P. French. “A Note on ‘Solar Escape Revisited.’”* American Journal of Physics *85 (1988): 85–86.*

*Hendel, A. Z. “Solar Escape.”* American Journal of Physics *51 (1983): 746.*

## (١٥) التقاء المدارات

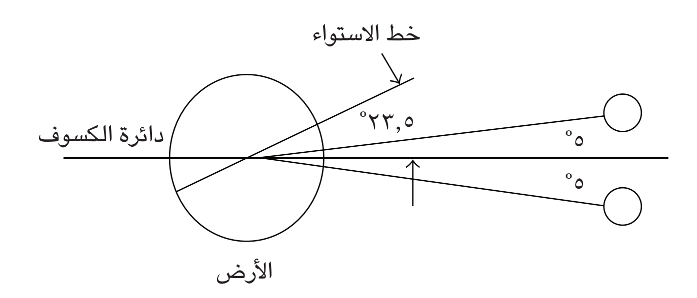
من شأن الاندفاع إلى الأمام أن يُحدث التأثير المعاكس تمامًا؛ إذ سيزيد المسافة بين المكوك والمحطة الفضائية. فالاندفاع صوب الهدف سيزيد طاقة المكوك، وهو ما سيأخذه إلى مدار أعلى. وهذه النتيجة يمكن رؤيتها في حالة المدار الدائري في العلاقة بين الطاقة الإجمالية $E_{tot}$ والمسافة الشعاعية $r$؛ حيث $E_{tot} = -GMm/2r$. لكن المدار الأعلى مرتبط بسرعات أقل، وهو ما يمكننا رؤيته من المعادلة $v^2 = GM/r$؛ لذا ستتباطأ سرعة المكوك. الإجراء الصحيح هنا يتطلب سلسلة من المناورات. ستكون البداية استخدام صواريخ الكبح، وهو ما يقلل الطاقة الإجمالية للمكوك ويسبب انخفاضه إلى مدار بيضاوي. هذا المدار،

بعد الدوران، يكون أكثر انخفاضًا؛ ومن ثم أسرع من مدار الهدف. بعد أن يسبق المكوكُ المحطةَ الفضائية، يمكن عكس هذه السلسلة من المناورات من أجل إعادة المكوك إلى مدار الهدف وإبطاء سرعته.

*Wolfson, R., and J. M. Pasachoff.* Physics. *Boston: Little, Brown, 1987, pp. 191–192.*

## (١٦) الانطلاق نحو القمر

بسبب تأثيرات جاذبية الأرض على مدار القمر، يمكن أن يتباين مَيْل مدار القمر نسبةً إلى المستوى المداري للأرض بمقدار ±٥° ٩′. وبجمع هذا المقدار على ميل خط استواء الأرض على مستواها المداري والبالغ ٢٣° ٢٨′، فإن ميل مدار القمر نسبةً إلى خط الاستواء الأرضي يتفاوت بين ١٨° ١٩′ و٢٨° ٣٧′، أو ما يعادل نحو ٢٨١ / ٢ درجة، وهي دائرة العرض الخاصة بمركز كينيدي للفضاء تمامًا. تمكِّن دائرة العرض هذه ناسا من أن تطلق المركبة الفضائية مباشرة جهة الشرق، مستفيدة استفادة كاملة من السرعة الدورانية للأرض، وذلك نحو مدارات تقع بالضبط تقريبًا في مستوى مدار القمر. وهنا يتساءل المرء متعجبًا: هل عرف جول فيرن بشأن الميكانيكا المدارية للمسبار القمري؟




على النقيض من ذلك، أُطلقت المسابير القمرية السوفييتية الأولى من تيوراتام، شرقي بحر آرال، التي تقع على دائرة عرض ٤٥,٦°. وأفضل ما أمكن تحقيقه من ذلك الموقع هو الإطلاق إلى مدار له ميل مقداره ٤٥,٦°، وهو ما يميل بنحو ١٧° على مدار

القمر حتى في ظل أفضل الظروف. ومن هناك، على المرء أن يغير مساره نحو المستوى المداري للقمر، وهو إجراء يهدر الكثير من الوقود.

*Lewis, J. S., and R. A. Lewis.* Space Resources: Breaking the Bonds of Earth. *New York: Columbia University Press, 1987, pp. 132–137.*

## (١٧) الاقتصاد في وقود الصواريخ

من قبيل المفارقة أنه من الأوفر من الناحية الاقتصادية تشغيل المرحلة العليا حين تكون قريبة من الأرض، لا تشغيلها عند الوصول إلى نقطة الأَوْج الخاصة بالصاروخ الدافع. فنحن نحصل على المنفعة الأعظم من الصاروخ الدافع حين تكون المرحلة العليا تتحرك بأقصى سرعة ممكنة، وليس حين تكون على أعلى ارتفاع ممكن وتتحرك ببطء شديد. ورياضيًّا، التغير في طاقة الحركة يتناسب طرديًّا مع السرعة؛ أي إن $\Delta KE = mv\Delta v$.

*Berman, A. I.* Space Flight. *Garden City, N.Y.: Doubleday, Anchor Press, 1979, pp. 75–78.*

## (١٨) سرعة كوكب الأرض

تدور الأرض بأقصى سرعة لها حين نكون في فصل الشتاء، وبأقل سرعة لها حين نكون في فصل الصيف، وذلك في نصف الكرة الشمالي. إن مسار الأرض حول الشمس بيضاوي بقدر طفيف، وهو ما يعني أن المسافة بين الأرض والشمس تتغير باستمرار. ومن قبيل المفارقة لمن يقطنون في نصف الكرة الشمالي أن الأرض تكون في الشتاء في أقرب موضع لها من الشمس، بينما تكون في أبعد موضع عن الشمس في فصل الصيف. تصل الأرض إلى نقطة الحضيض؛ أي أقرب نقطة من الشمس (بمسافة مقدراها ١٤٧٫١ مليون كيلومتر)، بين يومي الثاني والخامس من يناير، وذلك اعتمادًا على العام، أما نقطة الأَوْج، النقطة الأبعد عن الشمس (بمسافة مقدارها ١٥٢٫١ مليون كيلومتر) فتصلها الأرض بين يومي الثالث والسادس من يوليو. ومن المثير للانتباه أن القمر سيظهر أخفت قليلًا في وقت الأوج عنه في وقت الحضيض. وفق قانون كبلر الثاني، المساحة التي يقطعها متجه نصف قطر الأرض تظل ثابتة. وكي تقطع الأرض مساحة كبيرة عليها

أن تتحرك على نحو أسرع حين تكون على مقربة من الشمس، بواقع ٣٠,٣ كيلومترًا في الثانية في وقت الحضيض، و٢٨,٨ كيلومترًا في الثانية في وقت الأوج.

## (١٩) هل الأرض في خطر؟

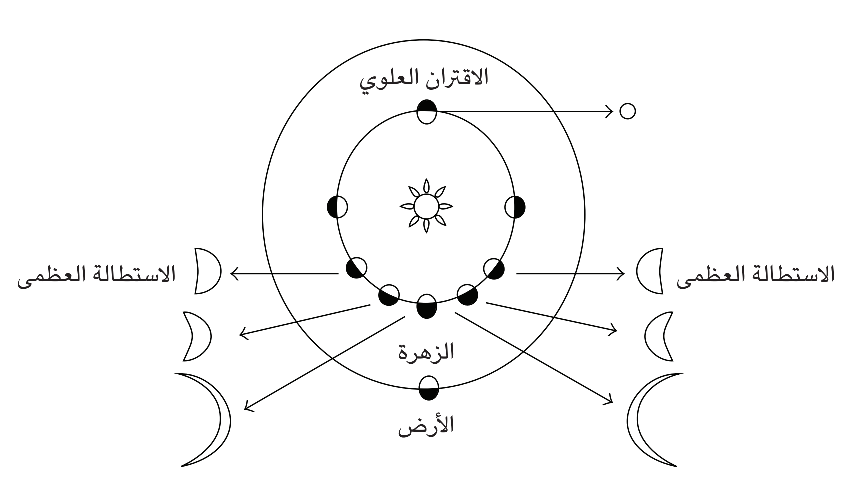
تدور الأرض حول الشمس بسرعة مقدارها نحو ٦٦ ألف ميل في الساعة. ولكي تتحرك الأرض إلى الداخل وتصل إلى الشمس نفسها، سيكون على الأرض أن تبطئ من سرعتها على نحو كبير نسبةً إلى الشمس، وذلك بأن تتسارع بسرعة مقدارها نحو ٦٦ ألف ميل في الساعة في الاتجاه المعاكس لاتجاه حركتها الحالي. ومن الأيسر بكثير أن يفلت كوكب الأرض من جاذبية الشمس بالكامل عن أن يسقط فيها.

## (٢٠) كوكب الأرض الراحل

يمكن اعتبار المسار الذي تتخذه الأرض عند سقوطها داخل الشمس بمنزلة جانب واحد لقطع ناقص رفيع للغاية له نصف محور رئيسي مقداره نصف وحدة فلكية. وباستخدام قانون كبلر الثالث، $T^2 = a^3$، نجد أن وقت السقوط يساوي نصف الفترة الجديدة؛ أي إن $T = (1/2)(0.5)^{1.5}$ عام، أو ٦٤,٦ يومًا.

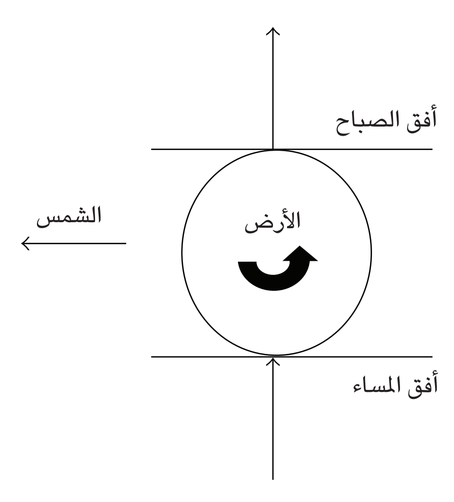
## (٢١) سطوع الأرض

بينما يدور كوكب الزهرة حول الشمس داخل مدار كوكب الأرض، فإن نصفه المُضاء بضوء الشمس يظهر للأرض بمقادير متفاوتة. وهو يظهر في طوره الكامل في وقت الاقتران العلوي، وفي ربع طوره في المتوسط قرب استطالاته، وفي الطور الجديد عند الاقتران السفلي. من قبيل المفارقة أن كوكب الزهرة لا يكون في أسطع حالاته حين يكون في أقرب موضع إلى الأرض (الطور الجديد)، وإنما في طور الهلال (نحو خمسة أسابيع قبل الطور الجديد وبعده). على الجانب الآخر؛ لأن كوكب الأرض أبعد عن الشمس من الزهرة، فإن نصفه المضاء كله يظهر أمام الزهرة حين يكون الكوكبان في أقرب موضع لهما.




## (٢٢) الشُّهُب

جانب كوكب الأرض الذي يشهد الصباح تضربه كلٌّ من الشهب التي تسقط نحوه بالإضافة إلى الشهب التي يقترب هو منها، أما الجانب الذي يشهد المساء فلا تضربه إلا الشهب التي تقترب من الأرض، على النحو المبين في الشكل.



## (٢٣) الدوران البطيء للأرض

لو كانت العلاقة التي تُظهرها البيانات المأخوذة من الكواكب الأخرى تنطبق على الأرض بالمثل، لدارت الأرض حول نفسها في ١٥٫٥ ساعة وليس في ٢٤ ساعة. ومع ذلك، على مر العصور تباطأ دوران الأرض حول نفسها بفعل التأثيرات المدِّيَّة للقمر. الكواكب الأخرى — المريخ والمشتري وزُحَل وأورانوس ونبتون — ليس لها أقمار كبيرة الحجم نسبةً إلى حجم الكواكب نفسها مثل القمر نسبةً إلى حجم الأرض. ومن ثم لم تعانِ هذه الكواكب من تأثير إبطاء مماثل.

القمر نفسه يعاني من تأثير إبطاء أكبر من ذلك الذي تعانيه الأرض. فبينما تتأثر الأرض بجاذبية القمر، يتأثر القمر بمجال جاذبية الأرض الأقوى بـ ٨١ مرة. وقد تباطأ دوران القمر حول نفسه إلى أن وصل إلى التوقف التام نسبةً إلى الأرض، بحيث ظل الوجه ذاته من القمر يواجه الأرض. لكن دوران القمر نسبةً إلى الشمس لم يتوقف. ويبلغ اليوم الشمسي للقمر نحو ٢٩٫٥ يومًا أرضيًّا، وهو ما يعادل الفترة الزمنية بين كل بدرين متعاقبين.

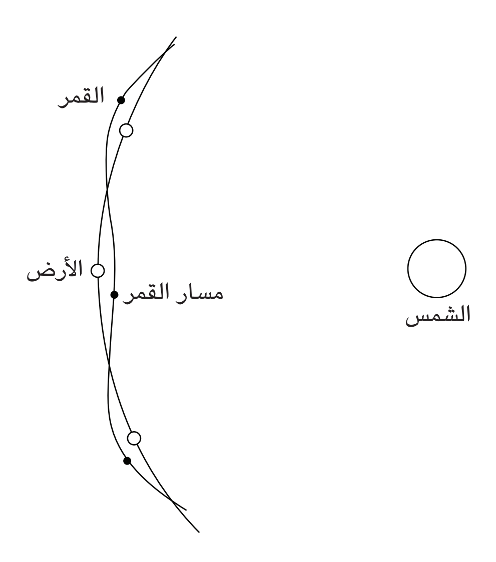
تباطأت فترة دوران عطارد حول نفسه على نحو بالغ بفعل التأثيرات المدية للشمس وهي تعادل الآن ٥٨٫٦٥ يومًا؛ أي ثلثي الفترة المدارية للكوكب والبالغة ٨٧٫٩٧ يومًا. ومن ثم، عطارد عالق في علاقة ارتباط من الدوران حول نفسه والدوران حول الشمس مقدارها ثلاثة إلى اثنين؛ بمعنى أن عطارد يُكمِل ثلاث دورات كاملة حول محوره مقابل كل دورتين كاملتين يقوم بهما حول الشمس. تباطَأَ دوران كوكب الزهرة أيضًا حول نفسه بفعل تأثير الشمس، وهو الآن يستغرق ٢٤٣ يومًا كي يدور (إلى الخلف!) حول محوره، وهو ما يقارب فترة دورانه حول الشمس (٢٢٥ يومًا).

## (٢٤) هل تستطيع الشمس أن تسرق القمر؟

تمنح الشمسُ للأرض نفس مقدار العجلة الجاذبة الذي تمنحه للقمر. وعجلة الأجرام في أي مجال جاذبية لا تربطها علاقة بكُتَلِها؛ لذا حين نقارن بين القمر والأرض، فإن العامل الوحيد المتبقي هو مسافتاهما النسبيتان من الشمس، وهنا يكون الفارق ضئيلًا للغاية لدرجة أنه يمكن تجاهله. ومن ثم، يتقوَّس مسارَا الأرض والقمر حول الشمس بالمعدل ذاته؛ وبذا تظل مسافتهما المشتركة واحدة فعليًّا.

## (٢٥) مسار القمر حول الشمس

الجواب هو: نعم؛ ثمة خطأ ما. فمسار القمر حول الأرض يكون دومًا مقعَّرًا نسبةً إلى الشمس. والشكل الفعلي للمسار يبدو أشبه بمضلع ذي ثلاثة عشر وجهًا زواياه مستديرة برفق (انظر الشكل). لمعرفة السبب، افترض أن القمر يقع مباشرة بين الأرض والشمس. في هذا الموضع، يُجذَب القمر في اتجاهين متعارضين بواسطة قوى الجاذبية الخاصة بالأرض والشمس. النسبة بين القوة الجاذبة نحو الشمس والقوة الجاذبة نحو الأرض تبلغ ١:٢,٢. ومن ثم، هذا الجزء من مسار القمر يجب أن يكون مقعَّرًا نحو الشمس، وإذا كان كذلك بالفعل، فلا يمكن لأي جزء آخر من المسار أن يكون محدَّبًا نحو الشمس.




*Purcell, E. M. "The Back of the Envelope."* American Journal of Physics *52 (1984): 588.*

## (٢٦) البدر

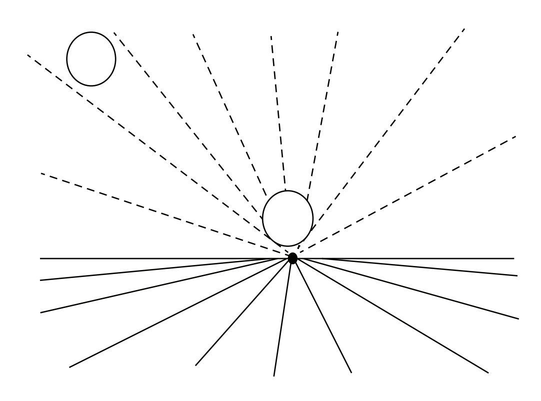
سطح القمر مليء بالفوَّهات والسهول المحاطة بالجبال وغيرها من التضاريس الوَعِرة. ومظاهر السطح هذه تلقي ظلالًا طويلة حين تُضاء في خُفُوت بواسطة الشمس، كما يحدث خلال التربيع الأول والأخير. هذه الظلال تجعل السطح يبدو أكثر إظلامًا من القمر وهو في طور البدر، حين تسطع الشمس من الأعلى مباشرةً فوق غالبية سطح القمر.

لاحظ أنه بسبب غرابة مدار القمر حول الأرض، لا يكون أي بدر مساويًا لسواه! فالمسافة بين الأرض والقمر تتفاوت من ٣٥٤٣٤٠ كيلومترًا (نحو ٢٨ قُطرًا أرضيًّا) إلى نحو ٤٠٤٣٣٦ كيلومترًا (نحو ٣٢ قُطرًا أرضيًّا)؛ ومن ثم يمكن أن يتفاوت ضوء القمر وهو في طور البدر بمقدار يصل إلى ٣٠ بالمائة. ومن المثير للاهتمام أن التربيع الأول يكون أسطع من التربيع الأخير بنحو ٢٠ بالمائة.

*Long, K.* The Moon Book. *Boulder, Colo.: Johnson Books, 1988, pp. 39–42.*

## (٢٧) الخداع البصري القمري

ثمة تفسير منطقي لهذا الخداع البصري يعود إلى زمن قديم؛ إلى الفلكي والهندسي بطليموس، الذي عاش في القرن الثاني الميلادي. يحمل هذا التفسير اسم نظرية المسافة الظاهرية، ويقضي بأن القمر المنخفض في الأفق يبدو أنه يوجد على مسافة أبعد من القمر عندما يكون في كبد السماء الخالية. إن الراصد يأخذ المسافة الظاهرية في الحسبان على نحو تلقائي، ويطبِّق دون وعْيٍ القاعدةَ التي تقضي بأنه إذا كوَّن جسمان صورتين لهما الحجم عينه، فلا بد أن الجسم الأبعد يكون أكبر حجمًا (انظر الشكل).



وهناك تفسير منطقي آخر للخداع البصري القمري يقضي بأنه حين يكون القمر قريبًا من الأفق، تتسبَّب الأرض والأفق في جعل القمر يبدو أقرب نسبيًّا. وبما أن القمر يغيِّر موضعه في العمق، بينما يظل المثير الضوئي ثابتًا، تُغَيِّر آليةُ منظومة المخ/العين من الحجم المُدرَك وتجعل القمر يبدو كبيرًا للغاية.

يمكن العثور على تاريخ للخداع البصري القمري وتفاصيل عن التفسيرات ذات الصلة في المراجع المذكورة. وجدير بالذكر أن التأثير ذاته ينطبق على الشمس أيضًا.

*Hershenson,* M. The Moon Illusion. *Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates, 1989.*

*Kaufman, L., and I. Rock. "The Moon Illusion."* Scientific American *207 (1962): 120.*

*Restle, F. "Moon Illusion Explained on the Basis of Relative Size."* Science *167 (1970): 1092.*

## (٢٨) تحديد حجم كوكبات النجوم

الجواب هو: نعم. انظر التفسير الخاص بالخداع البصري القمري في السؤال السابق. إن المسافة بين النجوم المنفردة داخل الكوكبة تبدو في ازدياد حين تكون الكوكبة أقرب إلى الأفق. وهذا التأثير يظهر بوضوح تحديدًا في حالة كوكبة الجبار في فصل الشتاء، وكوكبة الدجاجة في فصل الصيف.

## (٢٩) القمر المقلوب

يتباين الاتجاه الظاهري لسطح القمر على نحو واسع اعتمادًا على دائرة العرض الموجود بها الراصد، وفي أي دائرة عرض بعينها يعتمد على موضع القمر في السماء. وبهذا فإن الجبال القمرية (المناطق الساطعة) والوديان القمرية (المناطق الداكنة) يمكن أن تبدو في موضع رأسي أو أفقي أو معكوس أو في أي موضع وسيط؛ وذلك استنادًا إلى الموضع الذي تنظر منه إلى القمر. وإذا كان لدينا راصدان على خط الطول ذاته — أحدهما مثلًا في بوسطن والثاني في سانتياجو في تشيلي — فإن الراصد الموجود في تشيلي سيرى القمر مقلوبًا تمامًا مقارنةً بصديقه في بوسطن، وذلك حين يكون القمر في اتجاه الجنوب فقط. أما في الأوقات الأخرى فيكون الاتجاه النسبي أكثر تعقيدًا.

## (٣٠) كم يبلغ ارتفاع القمر؟

حين تكون دائرة الكسوف منخفضة في الجانب المضيء من الأرض، كما في فصل الشتاء، فإنها تكون بالتبعية أعلى في الجانب المظلم. ومن ثم فإن القمر يكون مرتفعًا في ليالي الشتاء ومنخفضًا في ليالي الصيف، بحيث يصل أقصى ارتفاع له في طور البدر، حين يكون قبالة الشمس مباشرةً.

## (٣١) «شروق الأرض» على القمر

الجواب هو: لا. لقد صار دوران القمر حول نفسه متزامنًا مع دورة القمر حول الأرض. ونتيجة لذلك، يواجه نصف القمر عينه الأرض على الدوام. وفوق هذه الحركة هناك «حركة اهتزازية» للقمر تمكِّننا من أن نرى، من وقت لآخر، نحو ٥٩ بالمائة من سطح القمر، وإن كنا في معظم الأوقات لا نستطيع أن نرى أكثر من ٤١ بالمائة فقط من سطحه؛ وذلك لأن الشكل الكروي للقمر يخفي المناطق القريبة لحدِّه الخارجي.

وبناءً عليه، بالنسبة إلى راصد موجود في أي موقع على القمر، ستبدو الأرض دائمًا في النقطة عينها في السماء، وتتذبذب قليلًا حول ذلك الموضع بسبب الحركة الاهتزازية. على سبيل المثال، قُرب منتصف نصف القمر المرئي ستكون الأرض مرئية بالأعلى مباشرة، وسترُى وهي تمر بأطوارها بنفس الطريقة التي نرى بها القمر وهو يمر بأطواره ونحن على الأرض.

## (٣٢) رؤية عطارد والزهرة

يقع مدارا عطارد والزهرة بين الشمس والأرض، ونتيجة لذلك، في نظر الراصد الذي يشاهد السماء لا يكون هذان الكوكبان بعيدين مطلقًا عن الشمس، وتكون الزاوية القصوى من الشمس — ما يُطلَق عليه الاستطالة — ٢٨ درجة في حالة عطارد، و٤٨ درجة في حالة الزهرة. ومن ثم، حين تغرب الشمس، لا يتأخر عطارد والزهرة عنها في الغروب.

تتضافر عوامل عدة كي يصير من الصعب رؤية كوكب عطارد. فبسبب أن مداره بيضاوي وأنه يميل بمقدار ٧ درجات عن مستوى دائرة الكسوف، فإن أكبر استطالة لعطارد يمكن أن تبلغ مقدارًا ضئيلًا لا يتجاوز ١٨ درجة. علاوةً على ذلك، لا يمكن أن يُرى عطارد إلا حين يكون واقعًا بزاوية لا تقل عن ١٠ درجات بعيدًا عن الشمس. ومن ثم، رغم أن عطارد يمكن أن يكون في مثل سطوع بعضٍ من أشد النجوم سطوعًا، تكون فترة الرؤية الخاصة به مقصورة على أسبوع أو أسبوعين ثلاث مرات سنويًّا في المساء، وثلاث مرات سنويًّا قبل شروق الشمس.

على العكس من ذلك يسهل بدرجة كبيرة مشاهدة كوكب الزهرة، الذي يظل أحيانًا في السماء لمدة أربع ساعات عقب الغروب. ومن المثير للاهتمام أن الزهرة، شأنه شأن القمر، يمكن في بعض الأحيان أن يُرى في منتصف النهار. ومن المعروف أن ثمة سُفنًا حربية أطلقت نيرانها عليه ظنًّا منها أنه منطادٌ مُعَادٍ.

## (٣٣) كثافة الأرض

مجال الجاذبية الخاص بالكواكب العملاقة يكون مرتفعًا بما يكفي كي يجتذب قدرًا ضخمًا من الغلاف الجوي ويحتفظ به. وغازات هذا الغلاف الجوي قليلة الكثافة مقارنةً بالجسم الرئيسي الصخري للكوكب، ويقلِّل وجود هذه الغازات على نحو بالغ من كثافة الكوكب ككلٍّ.

## (٣٤) الشروق من الغرب

هناك بعض الأمثلة بالفعل! أحدها هو القمر الأقرب والأكبر للمريخ، المسمَّى فوبوس، الذي يدور حول المريخ في ٧ ساعات و٣٩ دقيقة. هذه الفترة أقصر من ثلث فترة دوران

المريخ حول نفسه. ونتيجة لذلك، تفوق الحركة المدارية إلى الشرق الخاصة بالقمر فوبوس في سماء المريخ حركته الظاهرية إلى الغرب التي يسببها دوران المريخ حول نفسه، وهو ما يجعل القمر فوبوس يُشرق من الغرب، ثم يقطع السماء في خمس ساعات ونصف فقط، كما يراه الراصد الموجود عند خط استواء المريخ، ثم يغرب في الشرق.

جِرْمٌ آخر ينطبق عليه هذا الأمر، هو الشمس حين تُرى من الزهرة وأورانوس. فبالنظر من نجم الشمال، نجد أن جميع الكواكب تدور حول الشمس في عكس اتجاه عقارب الساعة، وتدور حول محاورها أيضًا في عكس اتجاه عقارب الساعة؛ أي من الغرب إلى الشرق. إلا أن كوكبَي الزهرة وأورانوس هما الاستثناءان الوحيدان. فكوكب الزهرة يدور من الشرق إلى الغرب حول محوره، وهو يفعل هذا ببطء شديد. فاليوم على الزهرة يعادل ٢٤٣ يومًا أرضيًّا. هذه الحركة القهقرية للزهرة تتسبب في جعل الشمس تشرق ببطء شديد من الغرب ثم تغرب ببطء مماثل في الشرق. أما كوكب أورانوس فمحوره مُوازٍ تقريبًا للمستوى المداري؛ لذا يتغير اتجاه الشمس المشرقة بواقع ١٨٠ درجة تقريبًا خلال السنة المدارية الواحدة!

أغربُ من كل هذا سلوكُ الشمس كما تُرى من على سطح كوكب عطارد. فحين يكون عطارد قرب الحضيض، تفوق سرعة الكوكب السريعة حول مداره حركته البطيئة حول محوره. فتتوقف الشمس في كبد السماء فعليًّا ثم تتحرك في الاتجاه المعاكس (من الغرب إلى الشرق) لعدة أيام أرضية. إضافة إلى ذلك، كواكب المشتري الأربعة الخارجية، والقمر فويب من أقمار زحل، والقمر ترايتون من أقمار نبتون، لها مدارات متقهقرة حول كواكبها الأم، وهو ما يشير ربما إلى أنها في الأساس كويكبات اقتنصتها هذه الكواكب.

## (٣٥) جبال المريخ العالية

لا يمكن أن يرتفع الجبل لأعلى من قيمة ارتفاع حرجة معينة، وهي تبلغ على الأرض ٩٠ ألف قدم. وأي ارتفاع أعلى من ذلك من شأنه أن يزيد وزن الجبل إلى نقطة تبدأ معها قاعدته في التحول إلى سائل تحت هذه الضغوط الهائلة، وهو ما يجعل الجبل يغوص إلى ما دون الارتفاع الحرج. على سطح المريخ، تكون قوة الجاذبية لكل وحدة كتلة أقل مما هي على الأرض؛ ومن ثم تكون الجبال أخف وزنًا؛ وبذا يمكنها أن تصل إلى ارتفاعات أعلى.

## (٣٦) الذهاب إلى المريخ عن طريق الزهرة!*

باستخدام مساعدة الجاذبية، أو طريقة المقلاع، تمر المركبة الفضائية بتصادم مرن مع كوكب الزهرة لا يحدث خلاله أي اتصال مادي. فبالتحرك في نفس الاتجاه العام للزهرة، تقترب المركبة من الكوكب ثم تبتعد عنه بالسرعة عينها نسبةً إلى الكوكب. وبالقياس في الإطار المرجعي الخاص بالمجموعة الشمسية، تكتسب المركبة نسبة صغيرة من طاقة الحركة الخاصة بالكوكب، وفي ذلك الإطار تخرج من عملية التطويح وقد اكتسبت سرعة أكبر، ترسلها نحو المريخ. يُقدَّر وقت رحلة الذهاب والإياب إلى المريخ بنحو ٥٠٠ يوم؛ أي أقل من طريقة المدار الانتقالي التقليدية بما يزيد عن العام.

كل نحو ١٧٥ عامًا تصطفُّ الكواكب الكبرى بالمجموعة، بحيث تستطيع مركبة فضائية وحيدة أن تستخدم طريقة المقلاع كي تحلِّق نحوها جميعًا. وقد استغلت مركبتا الفضاء «فويدجر ١» و«فويدجر ٢» هذه الفرصة كي تكملا جولة عظمى مرورًا بالكواكب الكبرى بالمجموعة الشمسية بين عامَي ١٩٧٩ و١٩٨٩م.

*Berman, A. I.* Space Flight. *New York: Doubleday, Anchor Press, 1979, pp. 167–172.*

*Lewis, J. S., and R. A. Lewis.* Space Resources: Breaking the Bonds of Earth. *New York: Columbia University Press, 1987, pp. 132–137.*

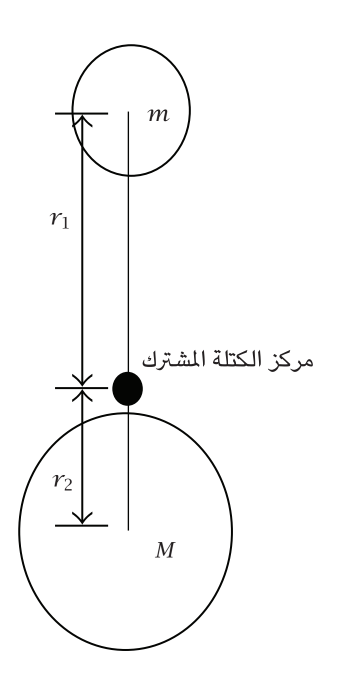
## (٣٧) أين أنت؟*

أدِر عُملة معدنية على أرضية الغرفة. لن تدور العُملة حول نفسها؛ لأنه وفق قانون حفظ الزخم يحاول متجه الزخم الزاوي للجسم الدوَّار الحفاظ على اتجاهه في الفضاء، لكن أرضية المحطة الفضائية تغيِّر موضعها بسرعة في الفضاء.

## (٣٨) هل كان جاليليو محقًّا؟*

يجب أن نكون أكثر دقةً في حديثنا. فهل نعني عجلة الجسم الساقط نسبةً إلى مركز الأرض، أم عجلته نسبةً إلى مركز الكتلة المشترك للأرض والجسم؟ يُطلَق على الأخير اسم «مركز الكتلة المشترك». والعجلة نسبةً إلى مركز الكتلة المشترك هي فقط التي تكون

مستقلة عن كتلة الجسم؛ لأنها مساوية لشدة مجال الجاذبية الأرضية عند مركز الكتلة الخاص بالجسم.




بطبيعة الحال، تتسارع الأرض في وقت السقوط نحو الجسم الساقط؛ ومن ثم تكون عجلة الجسم نحو مركز الأرض هي مجموع عجلتَي الجسم والأرض. هذا التأثير «يزداد» مع ازدياد كتلة الجسم! ورياضيًّا نقول إن $mr_1 = Mr_2$ أو $(m+M)r_1 = M(r_1+r_2)$، وهو ما يمكن تحويله إلى الصورة التالية: $a_{m-M} = a_{\text{cm}}(1 + m/M)$؛ حيث $a_{m-M}$ عجلة الجسم نسبةً إلى مركز الأرض.

إذن ربما كان أرسطو محقًّا على أي حال. فالأجسام الثقيلة تسقط أحيانًا بعجلة أكبر من عجلة الأجسام الخفيفة!

*de la Vega, R. L. "Gravity Acceleration Is a Function of Mass."* Physics Teacher *16 (1978): 292.*